

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra Elektroenergetiky

Rekonstrukce vn rozvodny v průmyslovém závodě
Reconstruction of the MV substation in industrial plant

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Zuber**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: **Rekonstrukce vn rozvodny v průmyslovém závodě.
Reconstruction of the MV substation in industrial plant.**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor průmyslových rozvodů
2. Popis současného stavu rozvodny Mír - Aglomerace
3. Metodika výpočtu zkratových proudů dle ČSN EN 60909
4. Možnosti řešení úprav rozvodny
5. Technickoekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Hradílek, Z.: Elektroenergetika I a II. Skripta VŠB TU 1992 a 1993
 2. Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení. Skripta VŠB TU 1990
 3. Pauza, J.: Zkrat v elektrických rozvodech, SNTL 1970
 4. Krychtálek Z., Pauza J.: Elektrické stanice SNTL 1989
 5. Trojáněk, Z., Hájek J., Kvasnica, P.: Přechodové jevy v el. soustavách, SNTL 1988 Praha
- Normy ČSN, firemní literatura, technická dokumentace

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

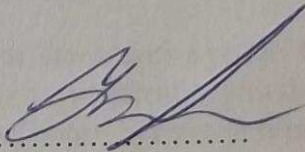



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne

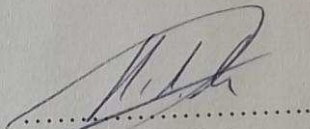
26.4.2018


Bc. Michal Zuber

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava

Dne

26.4.2018


Ing. Petr Hodula

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Dr. Ing. Jiřímu Gureckému za odborné vedení diplomové práce.

Dále děkuji panu Ing. Petru Hodulovi za cenné odborné rady, poskytnutí užitečných materiálů při zpracování této diplomové práce.

Abstrakt

Teoretická část práce se zabývá průmyslovými sítěmi, elektrickými stanicemi a jejich funkcí. Dále teoretická část obsahuje popis jednotlivých typů elektrických přístrojů používaných v elektrických stanicích. Poslední část teoretické kapitoly definuje postup výpočtu zkratových poměrů, maximálních a minimálních zkratových proudů a výpočet zkratové impedance jednotlivých zařízení elektrizační sítě podle normy ČSN EN 60909-0 edice 2. V praktické části je vypracován postup rekonstrukce rozvodny Mír v Třinci. Výpočet zkratových poměrů v této rozvodně, návrh přístrojového vybavení rozvodny a finanční zhodnocení.

Klíčová slova

Zkrat, zkratový proud, zkratové poměry, VN elektrické přístroje, elektrické stanice, rekonstrukce rozvodny.

Abstract

The theoretical part of thesis deals with industrial networks, electrical stations and their functions. Further, the theoretical part contains a description of individual types of electrical apparatus used in electrical stations. The last part of the theoretical chapter defines the calculation procedure of short-circuit conditions, maximum and minimum short-circuit currents and calculation of short-circuit impedance of individual elements in power supply network according to ČSN EN 60909-0 edition 2. In the practical part reconstruction of Mír substation in Třinec is developed as well as calculation of short-circuit conditions in this substation, design of apparatus equipment and financial evaluation.

Keywords

Short circuit, short-circuit current, short-circuit conditions, HV electrical apparatus, electrical stations, substation reconstruction.

Obsah

Poděkování	1
Obsah.....	4
Seznam obrázků	7
Seznam Tabulek	7
Seznam použitých zkratk a symbolů	7
Úvod	9
Teoretická část.....	10
1 Teoretický rozbor průmyslových rozvodů	10
1.1. Základní druhy rozvodných sítí.....	10
1.2. Požadavky na průmyslové rozvody.....	11
1.3. Elektrické stanice	12
1.1. Provedení rozvoden dle typů	12
1.1.1 Transformovny	12
1.1.2 Měničny	13
1.1.3 Spínací stanice	13
1.1.4 Kompenzovny	13
1.2. Požadavky elektrických stanic	13
1.2.1 Technické	13
1.2.2 Elektromagnetická kompatibilita.....	14
1.2.3 Sociální	14
1.2.4 Ekologické.....	14
1.2.5 Ekonomické.....	14
1.3. Typy rozvoden.....	14
1.3.1 Venkovní	14
1.3.2 Kóbkové	14
1.3.3 Rozvaděče	15
1.4. Výzbroj rozvoden	15
1.4.1 Vypínače.....	15
1.4.2 Transformátory	18
1.4.3 Přípojnice.....	18
1.4.4 Odpojovač	19
1.4.5 Přístrojové transformátory.....	19

1.4.6	Pojistky	19
1.4.7	Svodiče přepětí	20
2	Teoretický výpočet zkratových proudů – dle normy ČSN EN 60909-0 ed. 2.....	21
2.1.	Výpočetní metoda.....	21
2.2.	Předpoklady výpočtu	21
2.3.	Ekvivalentní zdroj v místě zkratu.....	22
2.4.	Souměrné složky	22
2.5.	Zkratové impedance elektrických zařízení	23
2.5.1	Síťové napáječe	23
2.5.2	Transformátory	23
2.5.3	Reaktory omezující zkratový proud	24
2.5.4	Synchronní stroje.....	24
2.5.1	Asynchronní motory	24
2.6.	Výpočet počátečního zkratového proudu	24
2.6.1	Podmínky výpočtu zkratových proudů.....	25
2.6.2	Trojfázový počáteční rázový zkratový proud	26
2.6.3	Dvoufázový zkrat	26
2.6.4	Jouleův integrál a ekvivalentní oteplovací zkratový proud	26
3	Praktická část.....	27
3.1.	Popis stávajícího stavu rozvodny	27
3.2.	Výkonové bilance rozvodny Mír.....	27
3.3.	Výpočet zkratových poměrů v rozvodně.....	27
3.3.1	Výpočet parametrů jednotlivých prvků v poměrných hodnotách:	28
3.3.2	Výpočet minimálních hodnot zkratových proudů:	35
3.4.	Popis možností úprav rozvodny	37
3.5.	Návrh nového vybavení rozvodny.....	38
3.5.1	Vypínače.....	38
3.5.2	Přípojnicový systém	39
3.5.3	Odpojovače.....	39
3.5.4	Ochrany	40
3.5.5	Přístrojové transformátory proudu	41
3.5.6	Přístrojové transformátory napětí	42
3.5.7	Omezovače přepětí	42
3.6.	Vybavení jednotlivých kobek.....	43
3.7.	Technicko-ekonomické zhodnocení	46

Závěr.....	48
Použitá literatura.....	49
Seznam příloh.....	51

Seznam obrázků

Obrázek 1 Paprskový průmyslový rozvod	10
Obrázek 2 Průběžný průmyslový rozvod	10
Obrázek 3 Okružní průmyslový rozvod	11
Obrázek 4 Mřížový průmyslový rozvod.....	11
Obrázek 5 Vakuový vypínač	18
Obrázek 6 Přehledové schéma napájení rozvodny Mír	28
Obrázek 7 Schéma vypočtených parametrů pro zkratové poměry	32
Obrázek 8 Zjednodušené schéma pro výpočet zkratových poměrů	33
Obrázek 9 Konečné schéma pro výpočet zkratových poměrů	34
Obrázek 10 Schéma pro výpočet minimálních zkratů.....	36
Obrázek 11 Vypínač Siemens SION 3AE1186-7	39
Obrázek 12 Odpojovač Isep QAK 12	40
Obrázek 13 Ochrana Siemens 7SJ80.....	40

Seznam Tabulek

Tabulka 1 Napěťový součinitel c	22
Tabulka 2 Důležitost namáhání zkratovými proudy pro zařízení elektrické instalace	24
Tabulka 3 Parametry potřebné pro dimenzování přístrojů v rozvodně	38
Tabulka 4 Parametry vypínače SION 3AE1186-7	38
Tabulka 5 Parametry vypínače SION 3AE1085-6	38
Tabulka 6 Parametry vypínače SION 3AE1186-2	38
Tabulka 7 Parametry odpojovače QAK 12.2500.....	39
Tabulka 8 Parametry odpojovače QAK 12.3150.....	39
Tabulka 9 Parametry odpojovače QAK 12.1250.....	40
Tabulka 10 Parametry přístrojového transformátoru proudu TTR 46.11	41
Tabulka 11 Parametry přístrojového transformátoru proudu TTR 43.11	41
Tabulka 12 Parametry přístrojového transformátoru proudu TTR 42.11	41
Tabulka 13 Parametry přístrojového transformátoru proudu TTR 42.11	41
Tabulka 14 Parametry přístrojového transformátoru proudu TPU 46.11	41
Tabulka 15 Parametry přístrojového transformátoru proudu TSR 61.1	42
Tabulka 16 Parametry přístrojového transformátoru proudu 7XR9672.....	42
Tabulka 17 Parametry přístrojového transformátoru proudu TJP 4.1	42
Tabulka 18 Parametry omezovače přepětí MWK07	42
Tabulka 19 ceny přípojnicového systému a kobek na rozvodně Mír	46
Tabulka 20 Ceny přístrojového vybavení rozvodny Mír.....	46
Tabulka 21 ceny montážních a demontážních prací na rozvodně Mír	47

Seznam použitých zkratk a symbolů

NN	Nízké napětí
VN	Vysoké napětí

VVN	Velmi vysoké napětí
SF ₆	Fluorid Sírový
c	Napěťový součinitel
I_{L1}	Proud fází L ₁
I_{L2}	Proud fází L ₂
I_{L3}	Proud fází L ₃
$I_{(1)}$	Sousledná složka proudu
$I_{(2)}$	zpětná složka proudu
$I_{(0)}$	netočivá složka proudu
Z_x	Impedance zařízení x
U_{nx}	Jmenovité napětí zařízení x
R_x	Činný odpor zařízení x
X_x	Reaktance zařízení x
P_{krx}	Zkratový výkon zařízení x
S_x	Zdánlivý výkon zařízení x
I_k''	Počáteční souměrný rázový zkratový proud
I_{k2}''	dvoufázový zkratový proud
$Z_{(1)}$	sousledná impedance
$Z_{(2)}$	zpětná impedance
i	okamžitá hodnota proudu
T_k	doba zkratu
m	činitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky
n	činitel pro tepelné účinky střídavé složky
I_{th}	ekvivalentní oteplovací proud
x_x	reaktance zařízení x v poměrných jednotkách
r_x	odpor zařízení x v poměrných jednotkách
i	impedance zařízení x v poměrných jednotkách
I_{k3}''	trojfázový zkratový proud
I_{km3}''	maximální trojfázový zkratový proud

Úvod

V této diplomové práci se budu zabývat rekonstrukcí kobkové VN rozvodny Mír v Třinci. Rozvodna Mír se rekonstruuje z důvodu nedostatečného výkonu, jelikož se navyšuje požadovaný příkon Třineckých železáren. Dále je požadavek na modernizaci přístrojového vybavení rozvodny, které je již zastaralé.

V prvních kapitolách zpracuji teorii průmyslových rozvodů, rozvedu teoretické znalosti o elektrických stanicích jako celku a vyberu důležité části normy ČSN EN 60909-0 edice 2, které budu potřebovat pro návrh rozvodny.

V praktické části provedu seznámení se stávajícím stavem rozvodny a provedu výpočet zkratových poměrů v rozvodně. Následně navrhnu přístrojové vybavení kobek, a nakonec ekonomicky zhodnotím rekonstrukci.

Teoretická část

1 Teoretický rozbor průmyslových rozvodů

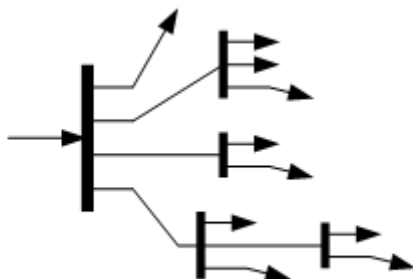
Dominantním odběratelem elektrické energie jsou průmyslové závody. Z toho důvodu je potřeba klást důraz na bezpečnost a hospodárnost rozvodů elektrické energie. Průmyslové rozvody musí být řešeny tak, aby tyto rozvody byly výhodné z hlediska investice i provozu. Průmyslové rozvody musí být navrženy adekvátně k velikosti a druhu průmyslového závodu. Při návrhu je potřeba věnovat pozornost také důležitosti dodávky elektrické energie a počtu napěťových hladin.

Napájení průmyslových závodů řeší distribuční soustava. Podle velikosti průmyslového závodu se volí napěťová hladina napájení. Pro největší podniky (nad 10 MVA) se využívá napájení ze sítě VVN 110 kV. Tyto závody mají vlastní vstupní transformovny a rozvodny. Středně velké závody (2-10 MVA) jsou napájeny ze sítě VN 22 kV. Vstupní transformovna je sloučena s hlavní rozvodnou. Malé průmyslové (do 2 MVA) závody jsou napájeny také ze sítě VN 22 kV s jednou transformovnou. Nejmenší podniky napájí síť 0,4 kV. [10]

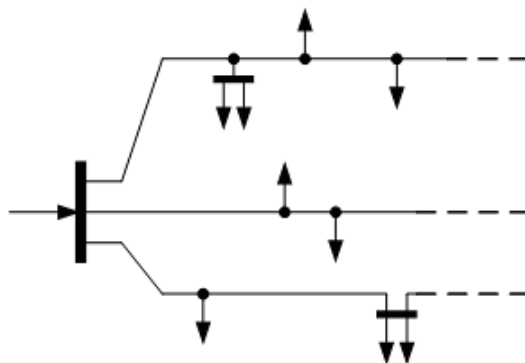
1.1. Základní druhy rozvodných sítí

Paprskový rozvod

Z hlavního napájecího bodu jsou vyvedeny vedení k jednotlivým spotřebičům. Při výpadku napájení nebo poruše na vedení je tento spotřebič odpojen od sítě. Není zde vytvořeno žádné záložní napájení. Rozšířením této varianty je průběžný rozvod. V tomto případě je jedním paprskem napájeno více spotřebičů. Tyto rozvody se používají u méně důležitých spotřebičů se třetím stupněm dodávky elektrické energie. [9][11]



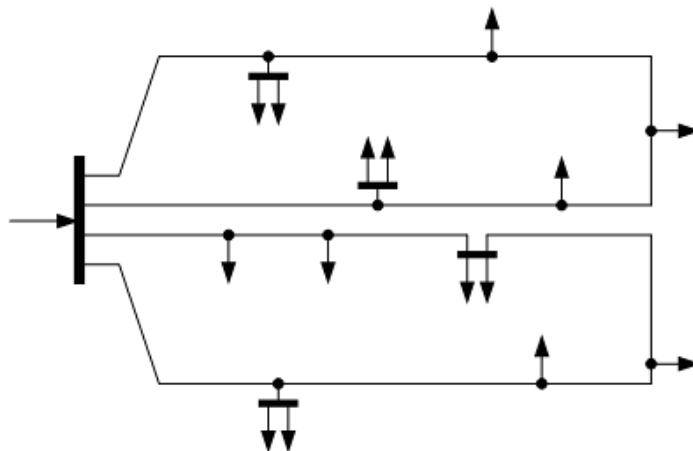
Obrázek 1 Paprskový průmyslový rozvod [11]



Obrázek 2 Průběžný průmyslový rozvod [11]

Okružní rozvod

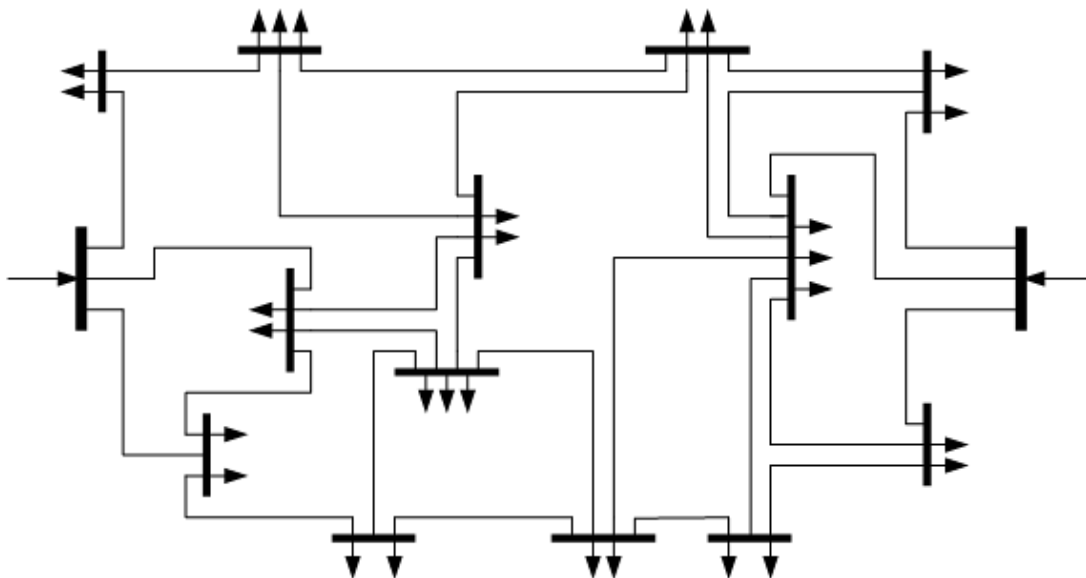
Postupným přidáváním odběrů do sítě vznikla síť okružní. Jednotlivé paprsky se spojí a vzniknou jednotlivé okruhy. Každý tento okruh je napájen stejně jako paprskový rozvod. V případě poruchy, jsou spotřebiče po přepojení dále napájeni z druhé strany. Toto přepojení se provádí automaticky nebo ručně. Hřebenový rozvod je varianta okružního rozvodu. [9][11]



Obrázek 3 Okružní průmyslový rozvod [11]

Mřížový rozvod

Tento způsob rozvodu vznikl dalším zhušťováním okružního rozvodu. Tyto okruhy se zauzlyly a připojily se další napájecí body. Mezi napájecími se vytváří tzv. slabá vazba, která se realizuje pojistkou s poloviční hodnotou proudu. Při poruše vybaví nejdříve slabší pojistky a až poté hlavní vazba. Toto vede k odpojení pouze části rozvodu. [9][11]



Obrázek 4 Mřížový průmyslový rozvod [11]

1.2. Požadavky na průmyslové rozvody

Tyto požadavky jsou v některých bodech protichůdné. Proto je třeba provést důkladnou analýzu a optimalizovat řešení rozvodného systému. [9][11]

- Bezpečnost osob a vlastního zařízení
- Odolnost proti vnějšímu prostředí
- Automatické odpojení hlavních částí

- Vyloučení rušivých vlivů na vlastní i okolní zařízení
- Možnost rozšíření bez nutnosti náročných úprav
- Přizpůsobivost při změnách dispozic
- Přehlednost
- Vzhled
- Využití opakovatelných prvků
- Nízké investiční náklady
- Nízké ztráty a ostatní provozní náklady
- Možnost rychlého odstranění poruchy
- Provozní spolehlivost

1.3. Elektrické stanice

Elektrizační síť se skládá ze čtyř částí. Výroben elektrické energie, přenosových zařízení elektrické energie, spotřebičů a rozvodných zařízení. Rozvodná zařízení se nazývají elektrické stanice, kterými se tato diplomová práce bude zabývat.

Elektrická energie, vyrobená v elektrárnách, se dodává ke spotřebiteli přenosovou a distribuční soustavou elektrické energie. Obě tyto soustavy se skládají s několika základních prvků, jimiž jsou:

- Výrobní uzly (elektrárny)
- Vedení (kabelové, vzdušné)
- Místa spotřeby (odběratelé energie)
- Elektrické stanice

Elektrické stanice tvoří v elektrizačních soustavách uzly. V těchto uzlech se soustředí velké množství funkcí. Mezi hlavní funkce patří transformování elektrické energie, řízení, měření a přepínání přenosu elektrické energie na potřebné větve a v neposlední řadě také chránění elektrizační soustavy. Většinu stanic dělíme podle jejich funkce na stanice:

Spínací – zde dochází k rozdělení elektrické energie stejného napětí k dalším uzlům

Transformační (transformovny) – Transformují elektrickou energii na požadované napětí

Usměrňovací stanice (měnárny) – přeměňují energii ze střídavé na stejnosměrnou a naopak. Eventuálně mění kmitočet energie na požadovaný.

Kompenzovny – stanice, které se používají ke kompenzaci jalové energie

Elektrické stanice se budují v místech zvýšené spotřeby elektrické energie nebo v místech, kde je potřeba energii rozvádět k dalším podružným uzlům. Například v blízkosti velkých průmyslových center, v blízkosti měst nebo velkých městských částí a v neposlední řadě u elektráren. [9][7][3]

1.1. Provedení rozvoden dle typů

1.1.1 Transformovny

Hlavní funkcí transformoven je transformace elektrické energie z jedné úrovně napětí na druhou se zachováním kmitočtu. V blízkosti elektráren jsou transformovny zvyšovací, kde dochází ke zvyšování napěťové úrovně pro přenos energie ke spotřebiteli s menšími ztrátami. V místech směrem k odběru se nachází naopak zmenšovací stanice, které snižují napětí na požadovanou úroveň. Transformovny mohou rovněž fungovat jako uzly, kde se vedení s vyšším napětím rozděluje do více větví. Tyto větve mohou poté vést k dalším uzlům nebo jsou v transformovnách transformovány na jinou velikost napětí. Hlavními prvky těchto stanic jsou výkonové transformátory. Transformovny na VVN jsou převážně ve venkovním provedení, kde všechny zařízení jsou v nezastřešeném oploceném prostoru. Transformovny VN se provádí jak ve venkovním, tak vnitřním provedení. Většinou záleží na

prostředí, kde se transformovna nachází. V průmyslových a městských aglomeracích se vyskytují převážně jako vnitřní provedení v budovách. Tyto budovy splývají s okolními budovami a nezasahují do rázu okolí. Existují i případy, kdy jsou transformovny umístěny do podzemí. [9][7][3]

1.1.2 Měnírny

Měnírny se používají ke změně typu proudu nebo jeho frekvence. Nejčastěji se mění střídavá energie na stejnosměrnou. Tyto měnírny se využívají pro elektrickou trakci a průmyslu. Jejich vybavení je podobné transformovnám. Jsou však vybaveny měniči. Tyto měniče jsou většinou tyristorové, jelikož dosahují velkých výkonů a jdou rychle řídit. V průmyslu se měnírny využívají pro dodávku stejnosměrného napětí pro stejnosměrné pohony a elektrolytickou výrobu. Trakční měnírny napájí elektrickou síť MHD, metra, důlní dopravu a železniční tratě. [9][7][3]

1.1.3 Spínací stanice

Tyto stanice slouží pro rozvod elektrické energie do větví beze změny parametrů elektrické energie. Jsou vybaveny spínacími, jistíci a ochrannými prvky. Tyto stanice se většinou nebudují samostatně. Ve většině případů jsou částí transformoven a měníren na primární nebo sekundární straně těchto stanic. Jejich hlavním úkolem je připojování jednotlivých větví, které obsluhují, k elektrizační soustavě. V případě poruchy na některé větvi nebo jiné elektrické stanici, tyto spínací stanice přepojují větve tak, aby byla, pokud možno zachována dodávka elektrické energie ke spotřebitelům. Zejména v místech s nepřetržitým provozem a vysokou důležitostí dodávky energie (nemocnice apod.) [9][7][3]

1.1.4 Kompenzovny

Pokud je v místě spotřeby instalováno velké množství indukčních strojů, vzniká velké množství jalové energie, která zatěžuje vedení. Zatížení jalovou energií je nežádoucí, neboť zvyšuje ztráty na vedení a distributoři elektrické energie pokutují odběratele, kteří vracejí do sítě velké množství jalové energie, vysokými pokutami. Z těchto důvodů se budují elektrické stanice nazývané kompenzovny. Tyto jsou vybaveny kondenzátorovými bateriemi, synchronními kompenzátory nebo jejich kombinací tak, aby kompenzovaly indukční jalovou energii kapacitní. Tyto stanice se budují poblíž velkých průmyslových aglomerací nebo jsou součástí jiného typu elektrické stanice a kompenzují jalovou energii v místě spotřeby. [9][7][3]

1.2. Požadavky elektrických stanic

Základním požadavkem na elektrickou stanici je její funkčnost. Další požadavky shrnu do pěti skupin, které ovlivňují výstavbu, provedení a výzbroj elektrických stanic. Tyto požadavky je potřeba v maximální možné míře plnit. Některé požadavky jdou přímo proti sobě a projektantům komplikují práci. Jakékoliv zanedbání jednoho z těchto požadavků může vést k nefunkčnosti nebo neefektivnímu provozu stanice. Tyto požadavky jsou:

1.2.1 Technické

Technické požadavky jsou určeny účelem stanice. Jedná se převážně o technické vybavení elektrické stanice, které musí splňovat účel, pro který je stanice postavená. Toto technické vybavení musí být spolehlivé a zároveň musí toto technické vybavení vydržet jak provozní, tak poruchové stavy, které mohou nastat ve stanici. Pro provozní stavy jsou klíčové jmenovité hodnoty. Pro poruchové stavy jde především o zkratovou odolnost. Dalším důležitým aspektem technických požadavků je možnost řízení pomocí ručních pohonů, motorů nebo ovládání na dálku. S tímto souvisí také možnost automatizace a v neposlední řadě kvalita provedení. [8][18]

1.2.2 Elektromagnetická kompatibilita

Elektromagnetická kompatibilita je pojem, zahrnující vzájemné působení zařízení ve svém okolí. Jde o vzájemné ovlivňování magnetickými poli, které mohou ovlivnit funkčnost měřicích přístrojů, znemožnit ovládání klíčových částí stanic nebo rušení okolních rádiových signálů. Elektromagnetická kompatibilita se ve většině případů řeší stíněním nebo oddělením silových, měřicích a řídicích obvodů odstíněnou překážkou nebo i jinou místností. Pochybení v této podmínce návrhu elektrické stanice může vést k nefunkčnosti. [8][18]

1.2.3 Sociální

Sociální požadavek je vliv elektrické stanice na člověka, jeho zdraví a bezpečnost. Do této kategorie spadá ochrana před nebezpečným dotykem, který může ohrozit lidský život, minimalizace rizika výbuchu, požáru, kontakt člověka s nebezpečnými látkami a řadu dalších. Jedná se především o různé zábrany, kryty ale také předpisy a doporučení jak pro výstavbu stanice, tak pro její obsluhu a provoz. Je potřeba dbát na přehlednost stanice, aby nedocházelo k omylům při obsluze. Sociální požadavky znamenají také náročnost na obsluhu, nutnost používání speciálního nářadí, dostup stanice integrovanému záchrannému sboru apod. [8][18]

1.2.4 Ekologické

Ekologické požadavky na elektrické stanice znamenají zejména poškození životního prostředí možnostmi uniků nebezpečných látek a kapalin do okolního prostředí stanice. Riziko havárie, požáru a výbuchu. Mimo tyto jde také o prevenci vzniku havárií, zastavění plochy, vliv na ráz krajiny, odolnost technického vybavení proti vnějším vlivům a vznik nebezpečných látek při chodu stanice. [8][18]

1.2.5 Ekonomické

Ekonomické požadavky na elektrické stanice, ale i na ostatní technické zařízení ovlivňují předchozí požadavky. Mimo počáteční investice na výstavbu je potřeba zohlednit i finanční výdaje na provoz a údržbu stanic. V běžné praxi nelze navrhnout stanici, která splňuje všechny předchozí požadavky výborně. Vzhledem ke snaze ušetřit se vytváří kompromisy mezi prvními čtyřmi požadavky a právě ekonomickými požadavky. Toto vede ke snižování kvality použitých dílů, zvýšení bezpečnostních rizik a podobně. Snížení těchto požadavků může paradoxně vést ke zvýšení finančních nákladů právě na provozu, revizi a výpadcích v dodávkách elektrické energie. [8][18]

1.3. Typy rozvoden

1.3.1 Venkovní

Venkovní stanice jsou svojí rozlohou největší. Nejčastěji jsou to stanice na ZVN a VVN. Jsou vzduchem izolované a ochrana proti nechtěnému dotyku je vyřešena oplocením celé stanice a polohou. Tyto typy stanic jsou velmi přehledné, ale zabírají velkou zastavěnou plochu. Z tohoto důvodu se pro menší napěťové hladiny používají spíše uzavřené stanice. [3][5][7][9]

1.3.2 Kobkové

V počátcích minulého století se stavěly VN rozvodny v kobkovém provedení. Taková rozvodna zabírá 3 až 5 poschodí. Každé poschodí bylo vyhrazené pro jiný účel. Později se začaly budovat rozvodny podobně, jak vypadají dnes. Jejich konstrukce je tvořena ocelovými profily, calofrigovou vyzdívkou, azbestocementovými nebo sádrovými deskami. Dnes se snažíme azbest z rozvoden odstranit a místo něj používat jiné nehořlavé materiály, které nejsou zdraví škodlivé. Takto budované rozvodny vyžadují při montáži zednické práce, vybudování jednotlivých kobek pomocí

desek a přepážek. Tyto přepážky zabraňují přeskoku elektrického oblouku mezi jednotlivými kobkami.

Kobkové rozvodny jsou situovány do jedné, dvou nebo i více řad podle dispozic prostoru, kde je rozvodna umístěna. Zároveň se však musí dodržet určité podmínky.

Části rozvodu pod napětím musí být od chodby mezi kobkami odděleny pevným nebo odnímatelným krytem, dveřmi nebo zábradlím. Vesměs jsou použity drátěné nebo plechové dveře. Zábradlí se používá pouze v rozvodnách, kde není stálá obsluha. Označení kobek je na dveřích.

Ovládací zařízení jsou v ovládacích skříních. Tyto skříně jsou v předním prostoru kobky u volně stojících kobek. U nástěnných kobek jsou připevněny k mezistěně příslušné kobky.

Kobky musí splňovat hlavní požadavek rozvodny. Tím je přehlednost a přístupnost. Zejména u odpojovačů musí být umožněno pozorování jejich stavu. [3][5][7][9]

1.3.3 Rozvaděče

Rozvaděče byly vyvinuty pro účel rozvodu elektrické energie přímo v místě spotřeby, tj. v průmyslových závodech. Jsou opatřeny krytím, které na rozdíl od kobek působí jako ochrana před nečistotami i proti nebezpečnému dotyku živých částí. Díky tomuto krytí mohou mít k rozvaděčům přístup i osoby neznalé. Jelikož odpojovač musí viditelně rozpojovat proudovodnou dráhu, bylo jeho využití v zakrytovaném rozvaděči bezúčelné. Vyvinuly se tedy výsuvné rozvaděčové vypínače, které lze ve vypnuté poloze vysunout, čímž simulují vypnutý odpojovač. Vyřazením odpojovačů se mohly rozvaděče zmenšit. Další zmenšení přišlo s využitím epoxidových pryskyřic jako izolace jednotlivých přístrojů v rozvaděči.

Rozvaděče se konstruují tak, aby vzniklý elektrický oblouk zůstal pouze v daném rozvaděči a nerozšířil do okolních rozvaděčů. Rozvaděče zvyšují provozní bezpečnost, ochranu pracovníků a zmenšení zastavěného prostoru. Oproti kobkovým rozvodnám mají řadu výhod. Rozvaděče lze sériově vyrábět v továrnách, lze rychle a jednoduše vyměnit vypínače, lze je umístit přímo v provozu, jsou snadno převozní a dají se jednoduše rozšířit. [3][5][7][9]

1.4. Výzbroj rozvoden

V této kapitole krátce představím výzbroj rozvoden. V rozvodnách se nachází množství elektrických strojů a přístrojů. Ze strojů jsou to transformátory, motory pohonů, čerpadel a kompresorů. Těmito stroji se nebudu v této práci tolik zabývat, proto se zaměřím na přístroje. Konkrétně používaných ve VN rozvodnách. Těmito přístroji jsou převážně vypínače, přístrojové transformátory, pojistky, svodiče přepětí a odpojovače. Nejdůležitější částí rozvodny jsou vypínače, kterým se budu věnovat nejvíce. Dále uvedu principy přístrojových transformátorů, svodičů přepětí a pojistek. Pro VN aplikace se dnes nepoužívají odpojovače. Pouze s výjimkou kobkových rozvoden. Odpojovač je dnes ve VN rozvodnách nahrazen vypínačem, který jde vysunout. Odpojovač slouží pouze k viditelnému rozpojení proudovodné dráhy, což spolehlivě zajistí vypínač vysunutý z pracovní polohy. Funkce odpínačů bude uvedena v průběhu textu.

1.4.1 Vypínače

Vypínače jsou základní spínací prvek rozvodny. Je konstruován pro spínání obvodů, a hlavně k jejich vypínání jak v provozních stavech, tak ve stavech poruchových. Každý vypínač je dimenzován na určitou napěťovou hladinu a určitý jmenovitý proud. Nejdůležitější hodnotou je však vypínací schopnost vypínače. Tato hodnota udává velikost poruchového proudu, kterou dokáže vypínač ještě spolehlivě vypnout. Vypínače jsou při vypínání namáhány elektrickým obloukem. Jejich úkolem je

přerušit elektrický oblouk, který vzniká oddalováním kontaktů. Tím obvod vypnou. V průběhu rozvoje elektrizačních soustav se vyvíjely různé typy vypínačů, jejich zhášecích komor, metod, jak efektivně vypínat pod zátěží.

První druh vypínačů jsou kapalinové vypínače. Jejich zhášecím médiem byl převážně minerální olej. První vypínače tvořila nádoba naplněná olejem. Olej byl zahříván obloukem a vypařoval se. Plyny a páry s vysokou teplotou vytvářely bublinu velkého tlaku okolo oblouku. Tento plyn byl poté skrze zhášedlo vyfouknut čímž se přerušil oblouk a vypínač úspěšně vypnul. Postupem času se zdokonalovaly zhášecí komory. Tyto se dělily na dva typy. První jsou axiální zhášedla, která oblouk vyfoukla v ose hoření oblouku, čímž oblouk dostatečně ochladila a zároveň natáhla do prostoru s chladným olejem. Druhá skupina jsou radiální zhášedla. V těchto zhášedlech byly štěrbin, kterými proudily plyny oleje ven z komory a sebou unášely oblouk. Ten se natahoval ve štěrbinách a zároveň chladil o stěny komory a proudícím plynem. Obě komory měly své výhody a nevýhody. V období druhé světové války se také jako zhášecí médium používala upravená voda tzv. expansin. Tyto vypínače byly zkonstruované v Německu. Důvod byl prostý. Německé rozvodny byly uprostřed velkých měst a často byly cílem bombardování spojenců. Výbuch olejového vypínače, který roznesl hořící olej, byl ničivý nejen pro rozvodny ale i pro zbytek města. Proto Němci přišli s touto bezpečnější technologií.

Druhý druh vypínačů jsou plynové. V těchto vypínačích slouží jako izolační médium stlačený plyn. Používá se zejména stlačený vzduch a SF_6 . Tyto vypínače pracují na principu mechanické výměny prostředí. To znamená, že stlačený plyn proudí přes trysku k oblouku. Tímto oblouk ochlazuje a zároveň natahuje, což vede k jeho přerušení. Úspěšnost zhášení je závislá na velkém množství parametrů a prozatím neexistuje matematický popis celého děje. Jedná se zejména o návrhy zhášecích komor a trysek. Vychází se zejména z experimentálního řešení a empirických vztahů. Jako médium lze použít jakýkoliv plyn splňující fyzikální a chemické vlastnosti spolu s cenou daného plynu. Nejčastěji se však používá stlačený vzduch (tlakovzdušné vypínače) a fluorid sírový.

Tlakovzdušné vypínače téměř nahradily olejové vypínače, a to hned z několika důvodů. Mezi ně patří velká vypínací schopnost, konstantní a krátká doba hoření oblouku, rychlost mechanismů a čistota a bezpečnost provozu. Mezi hlavní nevýhody patří nutnost kompresorové stanice se zásobníky stlačeného vzduchu, která přináší vyšší nároky na provoz a údržbu. Při rychlém vypínání se musí paralelně na vypínače připojovat rezistor o určitém odporu. Tento se připojuje z důvodu zmenšení strmosti zotaveného napětí, které může způsobit opětovné zapálení oblouku a jeho sepnutí.

Vypínače s SF_6 . Nejprve uvedu pár informací o fluoridu sírovém. Je to plyn bez barvy a zápachu. Přibližně 6tinásobně těžší než vzduch. Je nedýchatelný, vykazuje 2,5krát vyšší elektrickou pevnost než vzduch, chemický stálý, nereaguje s okolním prostředím, patří mezi skleníkové plyny. Při vysoké teplotě se rozkládá na nižší sulfidy a fluoridy. Po ochlazení rekombinuje zpět do podoby SF_6 . Při extrémně vysoké teplotě se nevratně rozkládá.

Tyto vlastnosti vedou k používání tohoto plynu jako zhášecího a chladicího média. První využití toho plynu bylo v přístrojích VVN. První vypínače pracovaly na podobném principu jako tlakovzdušné. Později se však ukázalo, že mají mnohem lepší výsledky jako vypínače VN. Tento plyn dovoluje konstruovat vypínače s velkou vypínací schopností, a přitom mají tyto vypínače malé rozměry. Vzhledem k nízké ionizovatelnosti atomů síry je napětí na oblouku nízké, čímž oblouk uvolňuje méně energie. Díky tomu jsou vypínače SF_6 méně citlivé na strmost zotaveného napětí a díky dobrému odvodu tepla rychleji zhasínají oblouk. Tímto je také zvýšen počet vypnutí bez revize, jelikož se méně opotřebovávají kontakty a zhášecí komora. Oblouky malých proudů mají velmi malou energii. Tato lze jednoduše odvést fluoridem sírovým a bezpečně vypnout. Při vyšších proudech již samostatné chlazení nestačí a je nutno chladit oblouk i proudícím plynem. Toto proudění vzniká

nejčastěji vytvořením přetlaku plynu pohybem roubíku, který stlačuje píst. Tím se vhání plyn do prostoru oblouku, kde následně oblouk uhasíná.

Vypínače s magnetickým ofukováním oblouku jsou používány převážně v NN. Tyto vypínače pracují na principu interakce magnetického pole vodiče a oblouku. Tímto magnetickým polem je oblouk vytlačován na plochy zhášecí komory, kde je natahován a chlazen samotným žebrováním zhášecí komory. Takovéto vypínače nepotřebují žádné zhášecí médium, protože magnetické pole si vytváří proud samotným obloukem a proudovodnou dráhou. Tyto vypínače jsou vhodné i pro vypínání stejnosměrných proudů.

Vakuové vypínače jsou posledním druhem vypínačů. Tyto vypínače měly z počátku své existence velké problémy s efektivním vypínáním. Jejich hlavní problém byl ten, že vypínaly příliš dobře a brzy. Většinou před průchodem proudu přirozenou nulou. Tzv. trhání proudu před přirozenou nulou má za následek velké přepětí ve vypínací soustavě. Tento problém vyřešil až pokročilý vývoj materiálů. Oblouk ve vakuu hoří v parách materiálu kontaktů. Vytváří se katodové a anodové skvrny. Páry se emitují z katody a postupují směrem k chladnější anodě, kde kondenzují. Při zmenšení proudu k nule ubývá katodových skvrn a tím množství nosičů náboje a oblouk uhasíná před přirozenou nulou. Díky pokročilé technologii výroby materiálů se však dostáváme do situace, kdy dochází k přechodu proudu přes nulu a oblouk se snaží emitovat volné nosiče náboje z katody, která dříve byla chladná anoda. Tím pádem nedojde k emisi dostatečného množství nosičů náboje a oblouk uhasíná v blízkosti přirozené nuly. Tohoto jevu bylo dosaženo práškovou metalurgií, kdy se vytváří pseudoslitina mědi a chromu. Oba tyto kovy a další příměsi se dokonale smísí formou prášku. Ten se poté zapéká ve vakuové peci na takovou teplotu, aby se měď natavila, zatímco chrom zůstane nenataven. Díky tomu mají kontakty vakuových vypínačů v sepnutém stavu vlastnosti měděných kontaktů, zatímco při vypínání se uplatňuje špatné uvolňování nosičů náboje z chromu. Vzniku anodové skvrny lze také zabránit magnetickým pohybem oblouku po ploše kontaktu. Oblouk v magnetickém poli vypínače se pohybuje po ploše kontaktů ve spirálách, čímž nedochází k zahřívání kontaktů v jednom bodě. Tím se opět zhoršuje schopnost emitovat volné nosiče náboje, což vede k uhasínání oblouku. [8] [18]



Obrázek 5 Vakuový vypínač [12]

1.4.2 Transformátory

Transformátor je elektrický netočivý stroj, který slouží k přeměně parametrů elektrické energie. Hlavním úkolem transformátorů je změna napěťové hladiny. Využívá principu elektromagnetické indukce. Transformací dochází ke změně napětí a proudu ale nedochází ke změnám frekvence. Při změně napětí na vyšší úroveň se snižuje proud, čímž se snižují ztráty na vedení, které jsou nežádoucí pro přenos energie na velké vzdálenosti. Z tohoto důvodu se v místě výroby elektrické energie využívají zvyšovací transformátory, a naopak směrem k místu odběru se využívají snižovací transformátory. Transformátory také galvanicky oddělují jednotlivé části elektrizační soustavy. Poslední výhodou transformátorů je regulace napětí pomocí odboček na výstupu transformátoru. Při kolísání napětí, se pomocí správné měřicí techniky a transformátoru s možností regulací pomocí odboček, lze transformátorem regulovat výstupní napětí na požadovanou hodnotu s dostatečně malým krokem. [8] [18]

1.4.3 Přípojnice

Přípojnice slouží k přenosu elektrické energie obdobně jako vzdušné vedení nebo kabely. Jejich využití je ale na malé vzdálenosti v elektrických stanicích mezi jednotlivými poli, kobkami nebo rozvaděči. Hlavní prvek přípojnice je měděný nebo hliníkový pás požadovaného průřezu, který slouží jako vodič. Tyto pásy se skládají podle potřeb pomocí různých L dílů, do téměř všech tvarů. Přípojnice jsou izolované nebo holé, vybaveny připojovacími místy, izolačními podpěrkami a odpojovači. Přípojnice se dimenzují na zkratové proudy, zejména na dynamické účinky zkratového proudu, kdy nesmí dojít k deformaci, utržení nebo jiné destrukci přípojnice. Odpojovače se u přípojnice používají k propojování různých přípojnicových systémů. [8] [18]

1.4.4 Odpojovač

Odpojovač je základní prvek elektrických stanic. Odpojovač slouží k viditelnému rozpojení elektrického obvodu v beznapěťovém stavu. Jde tedy o významný bezpečnostní prvek v elektrických stanicích. Před začátkem jakékoliv práce na daném zařízení se musí obsluha ujistit, že je toto zařízení viditelně odpojeno od napájení. Přes evidentní jednoduchost odpojovače je potřeba dbát na požadovanou odolnost na provozní i poruchové stavy. Odpojovače se dále používají k přepojování jednotlivých částí elektrické stanice mezi systémy přípojníc. [8] [18]

1.4.5 Přístrojové transformátory

Přístrojové transformátory se dělí do dvou skupin. Přístrojové transformátory proudu, které převádí elektrický proud na napětí a přístrojové transformátory napětí, které mění pouze velikost napětí. Slovo transformátor značí, že se bude jednat spíše o stroj než o přístroj. Nicméně tyto transformátory nejsou navrženy pro přenášení výkonu ale napěťové nebo proudové úrovně pro napájení měřicích, jisticích a ochranných přístrojů. Proto se nazývají přístrojové. Hlavní důvod je ten, že přístroje, které vyhodnocují stavy sítě, nejsou schopny pracovat na dané napěťové hladině nebo měřit tak velké proudy. Respektive mohou ale jejich konstrukce a cena by byla náročná. Druhý důvod je oddělení (V)VN části rozvodny od nízkonapěťové. Většina přístrojových transformátorů mají takový převodní poměr, aby převáděly jmenovité proudy a napětí na primární straně na hodnoty napětí a proudu na sekundární straně 1 nebo 5 V respektive 1 nebo 5 A.

Proudové transformátory pracují ve dvou režimech. V provozním režimu je přesnost transformátoru dána třídou přesnosti, která značí chybu transformátoru. V nadproudové oblasti záleží na charakteristice transformátoru a jeho nadproudového čísla, které znázorňuje násobek jmenovitého proudu, ve kterém transformátor převádí proud s chybou do 10 %.

Měřicí transformátory napájí měřicí přístroje v provozní oblasti. Na tyto je tedy dbána co nejvyšší třída přesnosti a nadproudové číslo je do 5 výjimečně 10 třída přesnosti je od 0,1 do 3. Zatímco na jisticí transformátory je kladen důraz právě na nadproudovou oblast, kde třída přesnosti je většinou 5 nebo 10 a nadproudové číslo se volí z řady 5, 10, 15, 20, 30.

Napěťové transformátory jsou dvojího druhu. Indukční transformátory jsou obdoby výkonových transformátorů s malým výkonem a napětím nakrátko. Pracují obdobně jako výkonový transformátor naprázdno. U těchto typů transformátorů záleží na co nejpresnějším převodu napětí, zatímco chyba proudu je nedůležitá. Měřicí transformátory mají třídu přesnosti od 0,1 do 3, jisticí 3 a 6. Druhý typ transformátorů napětí jsou kapacitní děliče napětí, používané zejména ve VVN.

Mezi přístrojové transformátory se také často řadí napěťové a proudové senzory. Tyto přístroje mají s transformátory společné pouze využití. [8] [18]

1.4.6 Pojistky

Pojistky jsou přístroje, sloužící k ochraně zařízení před účinky nadproudů a zkratů. Jejich použití je jednorázové. Základním prvkem pojistky je tenký tavný vodič, který je nejslabším místem obvodu. Jeho průřez je navržen tak, aby se právě v místě zúžení při nadproudu (několikanásobku jmenovitého proudu), začal přehřívat. Velikost nadproudu společně s dobou působení nadproudu způsobí přetavení zeslabeného vodiče. Při přetavení vzniká elektrický oblouk, jehož uhašením se přeruší obvod. Z toho je patrné, že po vybavení pojistky se tato pojistka musí nahradit novou, nepoužitou. Jako hasivo se nejčastěji používá křemičitý písek. Tento písek je velmi dobrý elektrický izolant a zároveň dobrý vodič tepla. Písek trhá oblouk na menší části, které zároveň ochlazuje. Tím

dojde k uhasnutí oblouku a vypnutí obvodu. Roztavený křemičitý písek dále příznivě ovlivňuje velikost přepětí. [8] [18]

1.4.7 Svodiče přepětí

Přepětí v elektrické síti vzniká atmosférickými výboji nebo spínacími pochody přístrojů. Tato přepětí ohrožují provoz strojů a přístrojů, jelikož namáhají izolační materiály v nich používané. Těmto přepětím nelze zabránit a je třeba tyto zařízení před nežádoucími účinky přepětí chránit. K tomuto účelu používáme zemní lana jako preventivní ochranu, které mají funkci hromosvodu a svodiče přepětí, které chrání zařízení před účinky samotného přepětí.

Svodiče přepětí se taktéž nazývají bleskojistky. Tyto bleskojistky jsou navrženy tak, aby v případě přepětí v síti způsobily rychlé a krátkodobé zemní spojení postiženého vodiče. Toto zemní spojení trvá tak dlouho, dokud se nesvede přebytečný náboj do země. Tím se sníží napětí na jmenovitou hodnotu. V tento okamžik musí bleskojistka přerušit zemní spojení, aby byl zachován standardní chod sítě.

Nejúčinnější jsou ventilové bleskojistky. Skládá se z napětově závislého rezistoru a jiskřiště. Při přepětí nastane na jiskřišti průraz, tím jiskřiště sepne a rezistorem prochází proud. Poklesem napětí roste odpor rezistoru, který omezuje vybíjecí proud do takové míry, až při průchodu nulou jiskřiště vypne. Nastavení přeskokové vzdálenosti jiskřiště a charakteristika rezistoru musí být nastavena tak, aby bylo přepětí svedeno a napětí sítě zůstalo na požadované úrovni. Dnes se s velkou oblibou používají varistory. Díky těmto součástkám jsme schopni vyrábět bleskojistky bez jiskřišť pro menší napětí. Bleskojistky s jiskřištěm používáme pouze pro nejvyšší napětí. [8] [18]

2 Teoretický výpočet zkratových proudů – dle normy ČSN EN 60909-0 ed. 2

Výpočet zjišťuje dva různé proudy a to:

- 1) Maximální zkratový proud, který určuje zkratovou odolnost nebo jmenovité hodnoty daného zařízení
- 2) Minimální zkratový proud, pomocí kterého se navrhují pojistky, ochrany a kontrolují se jím rozběhy motorů

Nejrozšířenější poruchou v přenosové i distribuční elektrizační soustavě jsou zkraty. Zkrat je definován jako úmyslné nebo náhodné vodivé spojení dvou nebo více fází, jedné nebo více fází se zemí nebo obvodů. Tímto spojením se rozdíl potenciálů obvodů blíží nule nebo je nulový. Zkrat vzniká v soustavách s uzemněným uzlem. Při zkratu protéká soustavou poruchový proud až do místa zkratu. Tento proud je několikanásobně větší než běžné provozní proudy. Tyto proudy přetěžují všechny zařízení elektrizační soustavy a je nutno tyto zařízení před účinky těchto zkratových proudů chránit. Pro správné chránění je potřeba správně nastavit ochrany a nadimenzovat elektrické přístroje tak, aby plnili svoji funkci i při zkratu a nedošlo k jejich destrukci. [2]

2.1. Výpočetní metoda

Kompletní výpočet zkratových proudů určuje proudy jako funkce času v místě počátku zkratu od počátku zkratu až do jeho konce. Ve většině praktických případů ale takový výpočet není potřeba. Většinou nás zajímá efektivní hodnota souměrné střídavé složky a nárazový zkratový proud zkratového proudu při vzniku zkratu. Nejvyšší hodnota tohoto proudu je tehdy, když napětí prochází nulou. [2]

2.2. Předpoklady výpočtu

Pro výpočet maximálního a minimálního proudu budeme uvažovat tato zjednodušení:

- a) Po dobu trvání zkratového proudu se nemění typ zkratu
- b) Po dobu zkratu nedochází k žádné změně v síti
- c) Odpor oblouku se neuvažují
- d) Paralelní admitance netočivých zátěží se zanedbávají v sousledné, zpětné i netočivé složkové soustavě
- e) Uvažují se impedance transformátorů pro přepínače odboček v základní pozici
- f) Kapacity vedení se zanedbávají v sousledné a zpětné složkové soustavě. V netočivé soustavě se zanedbávají pouze tehdy, když je uzel soustavy spojen se zemí přes nízkou impedanci a činitel zemního spojení je vyšší než 1,4.
- g) Magnetizační admitance transformátorů jsou zanedbány v sousledné, zpětné i netočivé soustavě

Takto zjednodušené výpočty nejsou samozřejmě přesné. Přesto je výsledná přesnost dostačující.

Impedance zařízení v sítích vyšších nebo nižších napětí, než je napětí v místě zkratu se musí přepočítávat na danou napěťovou hladinu čtvercem jmenovitého převodu transformátoru. Napětí a proudy se přepočítávají pouze vynásobením jmenovitého převodu transformátoru. Pokud se nachází v soustavě více transformátorů s přibližně stejným převodem, může se použít aritmetický průměr pro zjištění hodnoty převodu transformátorů. [2]

2.3. Ekvivalentní zdroj v místě zkratu

V místě zkratu se zavádí ekvivalentní zdroj napětí. Tento zdroj je jediný aktivní prvek soustavy, ostatní napáječe a elektrické stroje jsou nahrazovány svou vnitřní impedancí. Vždy zařazujeme ekvivalentní zdroj napětí. Údaje o odběrech, nastavení odboček a buzení generátorů nejsou potřeba. Všechna další napájecí napětí jsou nulová. Nadřazená soustava se nahrazuje její vnitřní impedancí, přepočtenou na stranu nižšího napětí transformátoru, a transformátorem, respektive jeho vnitřní impedancí na straně nižšího napětí. Paralelní admitance vedení, transformátorů a dalšího netočivých strojů se neuvažuje.

Pokud neexistují příslušné národní normy, stanovuje se napěťový činitel c podle Tabulka 1 [2]

Tabulka 1 Napěťový součinitel c [2]

Jmenovité napětí U_n	Napěťový součinitel c pro výpočet	
	maximálních zkratových proudů c_{\max}^a	minimálních zkratových proudů c_{\min}
Nízké napětí 100 V až 1 000 V (IEC 60038:2009, Tabulka 1)	1,05 ^c 1,10 ^d	0,95 ^c 0,90 ^d
Vysoké napětí ^b >1 kV až 230 kV (IEC 60038:2009, Tabulky 3, 4)	1,10	1,00
Velmi / zvláště vysoké napětí ^{b,e} >230 kV (IEC 60038:2009, Tabulka 5)	1,10	1,00

^a $c_{\max}U_n$ by neměl překročit nejvyšší napětí U_m pro zařízení energetických soustav
^b Pokud není jmenovité napětí definováno potom $c_{\max}U_n = U_m$ nebo $c_{\min}U_n = 0,90 \times U_m$
^c Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí $\pm 6\%$, například pro soustavy přecházející z 380 V na 400 V.
^d Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí $\pm 10\%$.
^e Pro jmenovité napětí týkající se $U_m > 420$ kV, nejsou napěťové součinitele v této normě definovány.

2.4. Souměrné složky

Výpočty hodnot v trojfázových soustavách se zjednodušují výpočtem souměrných složek. Hlavním předpokladem je, že všechna zařízení jsou symetrická. Proudů v každé fázi se zjistí superponováním proudů tří souměrných soustav:

- Proud sousledné složkové soustavy $I_{(1)}$
- proud zpětné složkové soustavy $I_{(2)}$
- proud netočivé složkové soustavy $I_{(0)}$ [2]

Pokud budeme fázi L_1 uvažovat za referenční, potom:

$$I_{L1} = I_{(1)} + I_{(2)} + I_{(0)} \quad (1)$$

$$I_{L2} = a^2 I_{(1)} + a I_{(2)} + I_{(0)} \quad (2)$$

$$I_{L3} = a I_{(1)} + a^2 I_{(2)} + I_{(0)} \quad (3)$$

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{1}{2}\sqrt{3} \quad (4)$$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{1}{2}\sqrt{3} \quad (5)$$

2.5. Zkratové impedance elektrických zařízení

U napáječů, transformátorů, venkovních vedení kabelů a reaktorů je sousledná a zpětná zkratová impedance stejná. Impedance generátorů, síťových transformátorů a elektrárenských bloků se musí přepočítat korekčními součiniteli, pokud se zkratové poměry počítají pomocí ekvivalentního napětového zdroje. [2]

2.5.1 Síťové napáječe

$$Z_Q = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I''_{kQ}} \quad (6)$$

2.5.2 Transformátory

Dvouvinutové:

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100\%} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad (7)$$

$$R_T = \frac{u_{rT}}{100\%} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3 \cdot I_{rT}^2} \quad (8)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (9)$$

Trojvinutové:

$$Z_{AB} = \left(\frac{u_{RrAB}}{100\%} + j \frac{u_{XrAB}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAB}} \quad (10)$$

$$Z_{AC} = \left(\frac{u_{RrAC}}{100\%} + j \frac{u_{XrAC}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAC}} \quad (11)$$

$$Z_{BC} = \left(\frac{u_{RrBC}}{100\%} + j \frac{u_{XrBC}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTBC}} \quad (12)$$

$$u_{Xr} = \sqrt{u_{kr}^2 + u_{Rr}^2} \quad (13)$$

$$Z_A = \frac{1}{2} (Z_{AB} + Z_{AC} - Z_{BC}) \quad (14)$$

$$Z_B = \frac{1}{2}(Z_{BC} + Z_{AB} - Z_{AC}) \quad (15)$$

$$Z_C = \frac{1}{2}(Z_{AC} + Z_{BC} - Z_{AB}) \quad (16)$$

2.5.3 Reaktory omezující zkratový proud

$$Z_R = \frac{u_{kR}}{100\%} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{rR}} \text{ a } R_R \ll X_R \quad (17)$$

2.5.4 Synchronní stroje

Generátory

$$Z_{GK} = K_G \cdot Z_G = K_G \cdot (R_G + jX''_d) \quad (18)$$

$$K_G = \frac{U_n}{U_{rG}} \cdot \frac{c_{max}}{1 + x''_d \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{rG}}} \quad (19)$$

Kompenzátory a motory

Pokud se počítá rázový zkratový proud, nárazový zkratový proud, souměrný zkratový vypínací proud a ustálený zkratový proud, jsou synchronní kompenzátory modelovány stejným způsobem jako synchronní generátory.

Pokud mají synchronní motory napěťovou regulaci, jsou uvažovány jako synchronní generátory. Pokud nemají regulaci, jsou předmětem dodatečných úvah. [2]

2.5.1 Asynchronní motory

$$Z_M = \frac{1}{\frac{I_{LR}}{I_{rM}}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} \cdot I_M} = \frac{1}{\frac{I_{LR}}{I_{rM}}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} \quad (20)$$

$$Z_M = R_M + jX_M = \left(\frac{R_M}{X_M} + j \right) \cdot \frac{Z_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_M}{X_M} \right)^2}} \quad (21)$$

2.6. Výpočet počátečního zkratového proudu

Maximální zkratový proud se počítá pro dimenzování zařízení z hlediska mechanického a tepelného namáhání. Minimální zkratový proud se naopak používá pro nastavení systémů ochran.

Maximální zkratový proud se používá při výpočtu dynamického namáhání, tepelného namáhání, vypínacího a zapínacího namáhání. Každý druh namáhání je důležitý pro jiné části elektrických instalací. Důležitost jednotlivých účinků zkratových proudů pro různé části elektrické instalace popisuje následující Tabulka 2. [2]

Tabulka 2 Důležitost namáhání zkratovými proudy pro zařízení elektrické instalace [2]

Zkratové proudy	Ovlivněné zařízení
-----------------	--------------------

Maximální	
namáhání dynamické	části instalace
namáhání při zapínání	spínací přístroje
namáhání při vypínání	spínací přístroje
namáhání tepelné	vedení a části instalace
Minimální	
působení ochran	systém ochran

2.6.1 Podmínky výpočtu zkratových proudů

Při výpočtu zkratových proudů je nutné zvolit následující podmínky:

- Pro výpočet maximálních zkratových proudů se musí použít napěťový součinitel c_{max} podle Tabulka 1, pokud není příslušná národní norma
- Zvolí se konfigurace soustavy a maximální příspěvky z elektráren a síťových napáječů tak, aby vedly k maximální hodnotě zkratového proudu v místě zkratu nebo pro přijatelné dělení sítě pro omezení zkratového proudu
- Použijí se impedanční korekční součinitelé v sousledné, zpětné i netočivé složkové soustavě, s výjimkou impedancí mezi uzlem a zemí
- Pokud jsou pro reprezentaci vnějších sítí použity ekvivalentní impedance, musí se použít minimální ekvivalentní zkratová impedance, která odpovídá maximálnímu příspěvku zkratových proudů od síťových napáječů
- Motory musí být zahrnuty
- Odpor vedení se musí uvažovat při teplotě 20 °C

Při výpočtu minimálních zkratových proudů je nutné zvolit následující podmínky:

- Pro výpočet minimálních zkratových proudů se musí použít napěťový součinitel c_{min} podle Tabulka 1
- Zvolí se konfigurace soustavy a minimální příspěvky z elektráren a síťových napáječů tak, aby vedly k minimální hodnotě zkratového proudu v místě zkratu
- Korekční součinitelé impedancí musí být rovny 1
- Příspěvky větrných a fotovoltaických elektrárenských bloků musí být zanedbány
- Příspěvky motorů musí být zanedbány
- Odpor vedení se musí uvažovat při vyšší teplotě [2]

2.6.2 Trojfázový počáteční rázový zkratový proud

Obecně se počáteční souměrný rázový proud I''_k . Počítá se podle rovnice:

$$I''_k = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (22)$$

V místě zkratu se zavádí ekvivalentní zdroj napětí $cU_n/\sqrt{3}$ se součinitelem c podle Tabulka 1. Zkratová impedance se určí buď postupným zjednodušením sítě, nebo z diagonálního prvku uzlové impedance matice sousledné složkové soustavy pro uzel i , ve kterém je zkrat. Uzlová impedance matice je inverzní k uzlové admitanční matici. [2]

2.6.3 Dvoufázový zkrat

V případě dvoufázového zkratu se počáteční rázový zkratový proud musí vypočítat takto:

$$I''_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} \cdot \frac{cU_n}{\sqrt{3}} \quad (23)$$

2.6.4 Jouleův integrál a ekvivalentní oteplovací zkratový proud

Integrál $\int i^2 dt$ určuje množství energie vytvářené v odporovém prvku soustavy průchodem zkratového proudu. Ekvivalentní oteplovací zkratový proud se vypočítává použitím součinitele m pro časově závislý tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu a součinitele n pro časově závislý tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu pro jeden konkrétní zkrat. [2]

$$\int_0^{T_k} i^2 dt = (I''_k)^2 \cdot (m + n) \cdot T_k = I_{th}^2 \cdot T_k \quad (24)$$

Ekvivalentní oteplovací zkratový proud pak je:

$$I_{th} = I''_k \sqrt{m + n} \quad (25)$$

3 Praktická část

3.1. Popis stávajícího stavu rozvodny

Kobková rozvodna Mír, která vyžaduje rekonstrukci je momentálně vybavená máloolejovými a vzduchovými vypínači, vzduchovými odpojovači a elektromechanickými ochranami. Dále vzhledem k rozvoji technologie je potřeba přestavět přípojnícový systém, jelikož na rozvodně dojde k navýšení instalovaného výkonu. Také bude potřeba vyměnit transformátory TP1 a TP2, které mají zdánlivý výkon 12,5 MVA každý. Tímto dojde i k navýšení zkratového výkonu rozvodny. Všechny tyto požadavky mají za následek výměnu téměř celé výzbroje rozvodny. Rozvodna se skládá z 36 VN kobek ve dvou řadách s přípojnícovým systémem, který neumožňuje rozepnutí na 2 samostatné přípojnícové systémy. Rozvodna je umístěná v třípatrové budově, kde každé patro vymezuje jednotlivé prostory (kobkový prostor VN, vývodový prostor VN a kabelový prostor VN).

3.2. Výkonové bilance rozvodny Mír

Rozvodna Mír napájí následující zařízení s následujícími výkony:

- Vývody na distribuční transformátory 6/0,525 kV, 1600 kVA v počtu 5 ks (T3, T4, T7, T8, T9)
- Vývody na distribuční transformátory 6/0,42 kV, 630 kVA v počtu 2 ks (T10, T11)
- Vývody na světelné transformátory 6/0,42 kV, 630 kVA v počtu 2 ks (TS5, TS6)
- Vývody na trojvinutové transformátory 6/0,42 kV, 3400 kVA v počtu 2 ks (T „3400“)
- Vývody na vysunuté transformátory VN/NN, 400 kVA v počtu 2 ks (VT3, VT4)
- Vývody na vysunuté transformátory VN/NN, 1000 kVA v počtu 2 ks (VT1, VT2)
- Vývod na vysunutý transformátor VN/NN, 1600 kVA v počtu 1 ks (VT)
- Vývod motor VN 6 kV, 365 kW v počtu 4 ks (LF1, LF2, LF3, LF4)
- Vývod motor VN 6 kV, 270 kW v počtu 1 ks (LF5)
- Vývod na rezervy VN v počtu 3 ks – neosazeno přístrojovým transformátorem proudu (REZERVA)
- Přívod pro rozvodny Sever 1 6 kV a Sever 2 6 kV 1000 A v počtu 2 ks
- Přívod pro rozvodnu Průmyslovou zónu 6 kV 1000 A v počtu 2 ks [1]

3.3. Výpočet zkratových poměrů v rozvodně

Napájení rozvodny Mír je zajištěno z rozvodny Ropice linkami 663 a 664 do Rozvodny T2. Detailní náhled je zobrazen na následujícím přehledovém schématu. Počítám zkratové poměry v rozvodně Mír tudíž v uzlu 10.

Parametry jednotlivých prvků jsou v přehledovém schématu (Obrázek 6 Přehledové schéma napájení rozvodny Mír). Doplním pouze chybějící parametry:

Vedení linky 663 a 664: $X_k = 0,396 \Omega/\text{km}$, $R_k = 0,122 \Omega/\text{km}$, $l = 5 \text{ km}$, počet paralelních větví: 2

Transformátory TP1 a TP2: $u_k = 10 \%$, $P_{knT} = 90 \text{ kW}$

Transformátory T111 a T112: $P_{knT} = 123 \text{ kW}$

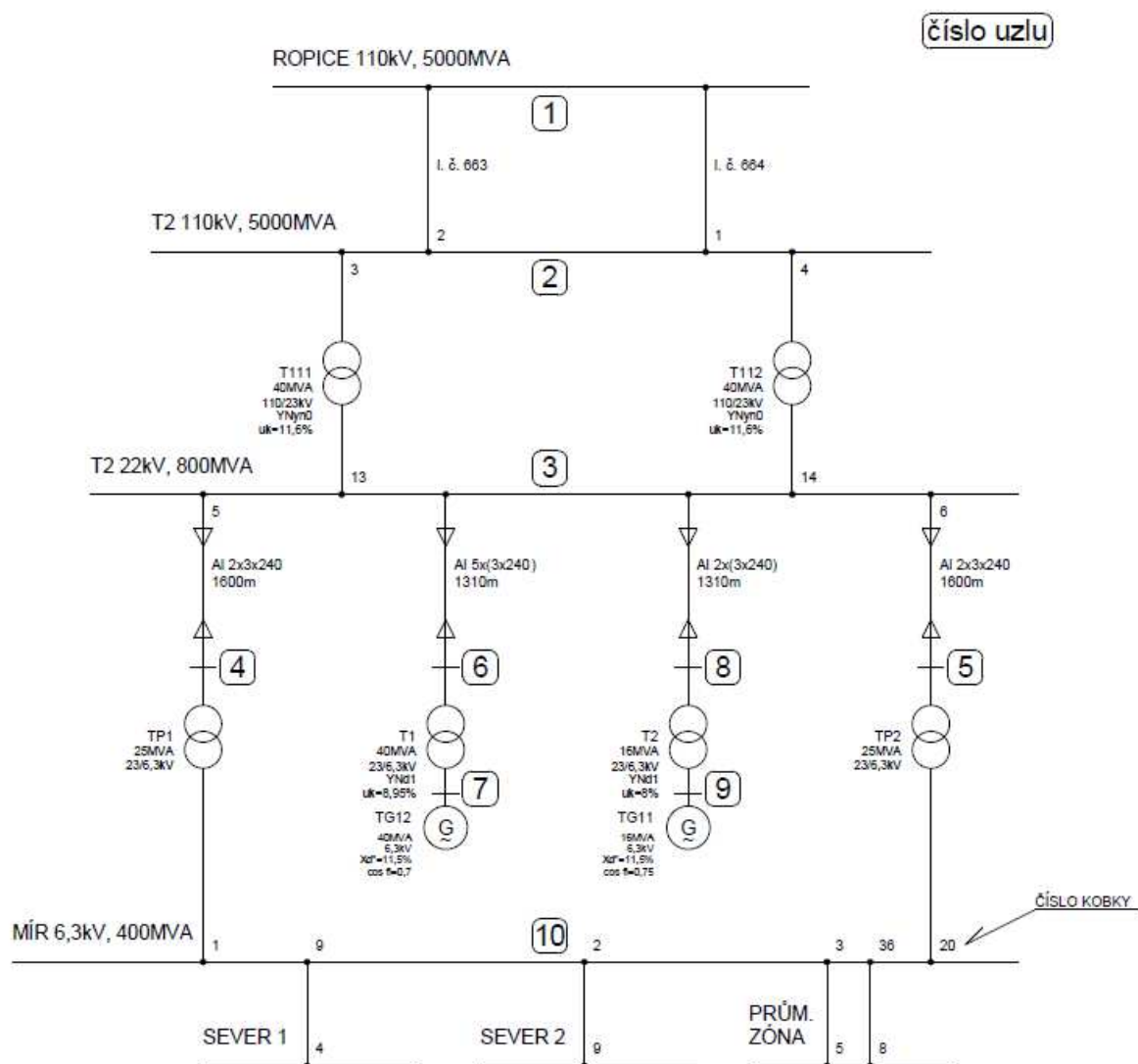
Transformátor T1: $P_{knT} = 100 \text{ kW}$

Transformátor T2: $P_{knT} = 80 \text{ kW}$

Kabely k transformátorům T1 a T2: $R_k = 0,125 \Omega/\text{km}$, $X_k = 0,113 \Omega/\text{km}$

Kabely k transformátorům TP1 a TP2: $R_k = 0,125 \Omega/\text{km}$, $X_k = 0,163 \Omega/\text{km}$

Počáteční rázový zkratový proud nadřazené soustavy při trojfázovém zkratu: $I''_k = 25 \text{ kA}$ [1]



Obrázek 6 Přehledové schéma napájení rozvodny Mír [1]

3.3.1 Výpočet parametrů jednotlivých prvků v poměrných hodnotách:

Vztažný výkon volím: $S_v = 5000 \text{ MVA}$

Vztažný proud:

$$I_v = \frac{S_v}{\sqrt{3} \cdot U_v} = \frac{5000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 458,2 \text{ kA} \quad (26)$$

Nadřazená soustava:

$$x_{s(1)} = \frac{c \cdot I_v}{I_k''} = \frac{1,1 \cdot 458,2}{25} = 20,16 \quad (27)$$

$$r_{s(1)} = 0,1 \cdot x_{s(1)} = 0,1 \cdot 20,16 = 2,02 \quad (28)$$

$$z_{s(1)} = r_{s(1)} + jx_{s(1)} = 2,02 + j20,16 \quad (29)$$

Transformátory T111 a T112:

$$z_{T111(1)} = \frac{u_k \cdot S_v}{100 \cdot S_{nT111}} = \frac{11,6 \cdot 5000}{100 \cdot 40} = 14,5 \quad (30)$$

$$r_{T111(1)} = \frac{P_{knT111} \cdot S_v}{S_{nT111}^2} = \frac{0,123 \cdot 5000}{40^2} = 0,38 \quad (31)$$

$$x_{T111(1)} = \sqrt{z_{T111(1)}^2 - r_{T111(1)}^2} = \sqrt{14,5^2 - 0,38^2} = 14,49 \quad (32)$$

$$z_{T111(1)} = r_{T111(1)} + jx_{T111(1)} = 0,38 + j14,49 \quad (33)$$

$$z_{T112(1)} = \frac{u_k \cdot S_v}{100 \cdot S_{nT112}} = \frac{11,6 \cdot 5000}{100 \cdot 40} = 14,5 \quad (34)$$

$$r_{T112(1)} = \frac{P_{knT112} \cdot S_v}{S_{nT112}^2} = \frac{0,123 \cdot 5000}{40^2} = 0,38 \quad (35)$$

$$x_{T112(1)} = \sqrt{z_{T112(1)}^2 - r_{T112(1)}^2} = \sqrt{14,5^2 - 0,38^2} = 14,49 \quad (36)$$

$$z_{T112(1)} = r_{T112(1)} + jx_{T112(1)} = 0,38 + j14,49 \quad (37)$$

Transformátory TP1 a TP2:

$$z_{TP1(1)} = \frac{u_k \cdot S_v}{100 \cdot S_{nTP1}} = \frac{10 \cdot 5000}{100 \cdot 25} = 20 \quad (38)$$

$$r_{TP1(1)} = \frac{P_{knTP1} \cdot S_v}{S_{nTP1}^2} = \frac{0,9 \cdot 5000}{25^2} = 0,72 \quad (39)$$

$$x_{TP1(1)} = \sqrt{z_{TP1(1)}^2 - r_{TP1(1)}^2} = \sqrt{20^2 - 0,72^2} = 19,99 \quad (40)$$

$$z_{TP1(1)} = r_{TP1(1)} + jx_{TP1(1)} = 0,72 + j19,99 \quad (41)$$

$$z_{TP2(1)} = \frac{u_k \cdot S_v}{100 \cdot S_{nTP2}} = \frac{10 \cdot 5000}{100 \cdot 25} = 20 \quad (42)$$

$$r_{TP2(1)} = \frac{P_{knTP2} \cdot S_v}{S_{nTP2}^2} = \frac{0,09 \cdot 5000}{25^2} = 0,72 \quad (43)$$

$$x_{TP2(1)} = \sqrt{z_{TP2(1)}^2 - r_{TP2(1)}^2} = \sqrt{20^2 - 0,72^2} = 19,99 \quad (44)$$

$$z_{TP2(1)} = r_{TP2(1)} + jx_{TP2(1)} = 0,72 + j19,99 \quad (45)$$

Transformátory T1 a T2:

$$z_{T1(1)} = \frac{u_k \cdot S_v}{100 \cdot S_{nT1}} = \frac{10 \cdot 5000}{100 \cdot 40} = 11,19 \quad (46)$$

$$r_{T1(1)} = \frac{P_{knT1} \cdot S_v}{S_{nT1}^2} = \frac{0,1 \cdot 5000}{40^2} = 0,31 \quad (47)$$

$$x_{T1(1)} = \sqrt{z_{T1(1)}^2 - r_{T1(1)}^2} = \sqrt{11,19^2 - 0,31^2} = 11,18 \quad (48)$$

$$z_{T1(1)} = r_{T1(1)} + jx_{T1(1)} = 0,31 + j11,18 \quad (49)$$

$$z_{T2(1)} = \frac{u_k \cdot S_v}{100 \cdot S_{nT2}} = \frac{10 \cdot 5000}{100 \cdot 40} = 25 \quad (50)$$

$$r_{T2(1)} = \frac{P_{knT2} \cdot S_v}{S_{nT2}^2} = \frac{0,08 \cdot 5000}{16^2} = 1,56 \quad (51)$$

$$x_{T2(1)} = \sqrt{z_{T2(1)}^2 - r_{T2(1)}^2} = \sqrt{25^2 - 1,56^2} = 24,95 \quad (52)$$

$$z_{T2(1)} = r_{T2(1)} + jx_{T2(1)} = 1,56 + j24,95 \quad (53)$$

Synchronní stroje TG11 a TG12:

$$x_{TG11(1)} = j \frac{x''_{d11} \cdot S_v}{100 \cdot S_{nTG11}} = j \frac{11,5 \cdot 5000}{100 \cdot 40} = j14,38 \quad (54)$$

$$x_{TG12(1)} = j \frac{x''_{d12} \cdot S_v}{100 \cdot S_{nTG12}} = j \frac{11,5 \cdot 5000}{100 \cdot 16} = j35,94 \quad (55)$$

Kabelová vedení k transformátorům TP1 a TP2:

$$r_{kTP1(1)} = \frac{2 \cdot R_{kTP1}}{p} \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_s^2} = \frac{2 \cdot 0,125}{2} \cdot 1,6 \cdot \frac{5000}{22} = 2,07 \quad (56)$$

$$x_{kTP1(1)} = \frac{2 \cdot X_{kTP1}}{p} \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_s^2} = \frac{2 \cdot 0,163}{2} \cdot 1,6 \cdot \frac{5000}{22} = 2,69 \quad (57)$$

$$z_{kTP1(1)} = r_{kTP1(1)} + jx_{kTP1(1)} = 2,07 + j2,69 \quad (58)$$

$$r_{kTP2(1)} = \frac{2 \cdot R_{kTP2}}{p} \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_s^2} = \frac{2 \cdot 0,125}{2} \cdot 1,6 \cdot \frac{5000}{22} = 2,07 \quad (59)$$

$$x_{kTP2(1)} = \frac{2 \cdot X_{kTP2}}{p} \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_s^2} = \frac{2 \cdot 0,163}{2} \cdot 1,6 \cdot \frac{5000}{22} = 2,69 \quad (60)$$

$$z_{kTP2(1)} = r_{kTP2(1)} + jx_{kTP2(1)} = 2,07 + j2,69 \quad (61)$$

Kabelová vedení k transformátorům T1 a T2:

$$r_{kT1(1)} = \frac{2 \cdot R_{kT1}}{p} \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_s^2} = \frac{2 \cdot 0,125}{5} \cdot 1,31 \cdot \frac{5000}{22} = 0,68 \quad (62)$$

$$x_{kT1(1)} = \frac{2 \cdot X_{kT1}}{p} \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_s^2} = \frac{2 \cdot 0,113}{5} \cdot 1,31 \cdot \frac{5000}{22} = 0,61 \quad (63)$$

$$z_{kT1(1)} = r_{kT1(1)} + jx_{kT1(1)} = 0,68 + j0,61 \quad (64)$$

$$r_{kT2(1)} = \frac{2 \cdot R_{kT2}}{p} \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_s^2} = \frac{2 \cdot 0,125}{2} \cdot 1,31 \cdot \frac{5000}{22} = 1,69 \quad (65)$$

$$x_{kT2(1)} = \frac{2 \cdot X_{kT2}}{p} \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_s^2} = \frac{2 \cdot 0,113}{2} \cdot 1,31 \cdot \frac{5000}{22} = 1,53 \quad (66)$$

$$z_{kT2(1)} = r_{kT2(1)} + jx_{kT2(1)} = 1,69 + j1,53 \quad (67)$$

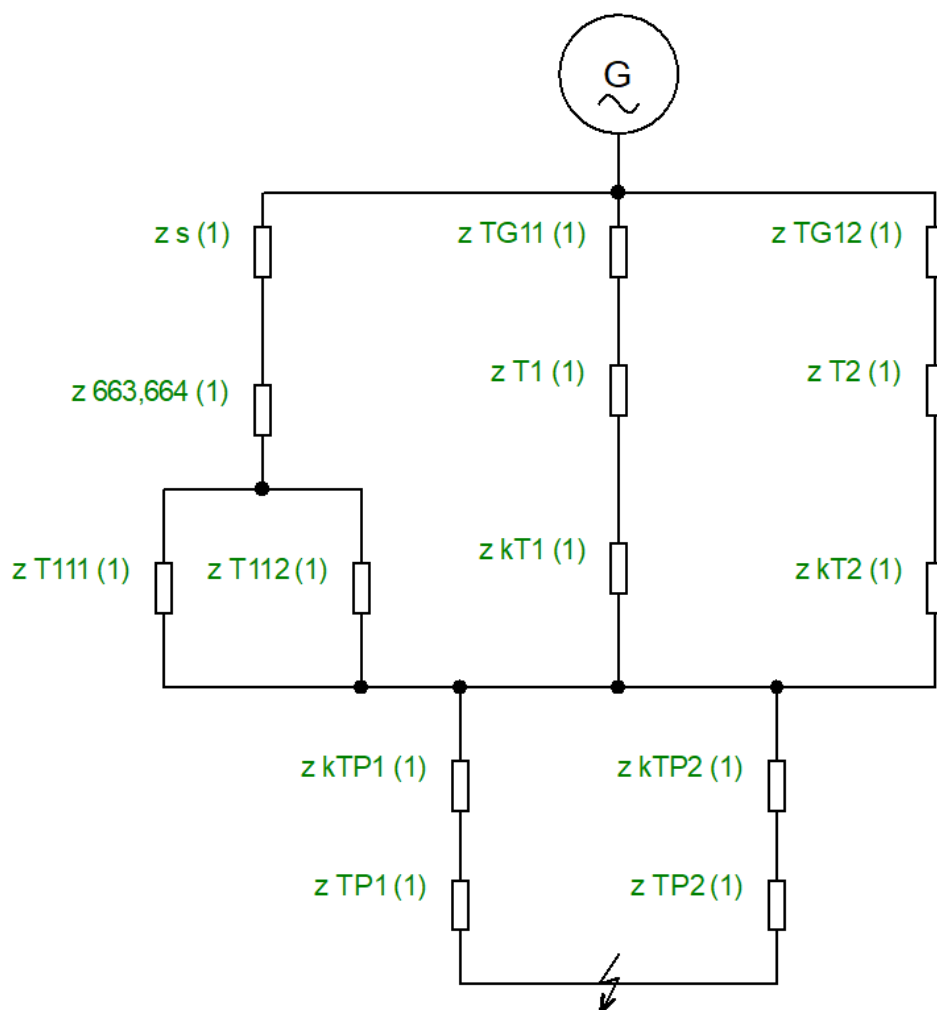
Vzdušné vedení 663 a 664:

$$x_{663,664(1)} = \frac{2 \cdot X_k}{p} \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_s^2} = \frac{2 \cdot 0,396}{2} \cdot 5 \cdot \frac{5000}{110} = 0,82 \quad (68)$$

$$r_{663,664(1)} = \frac{2 \cdot R_k}{p} \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_s^2} = \frac{2 \cdot 0,122}{2} \cdot 5 \cdot \frac{5000}{110} = 0,25 \quad (69)$$

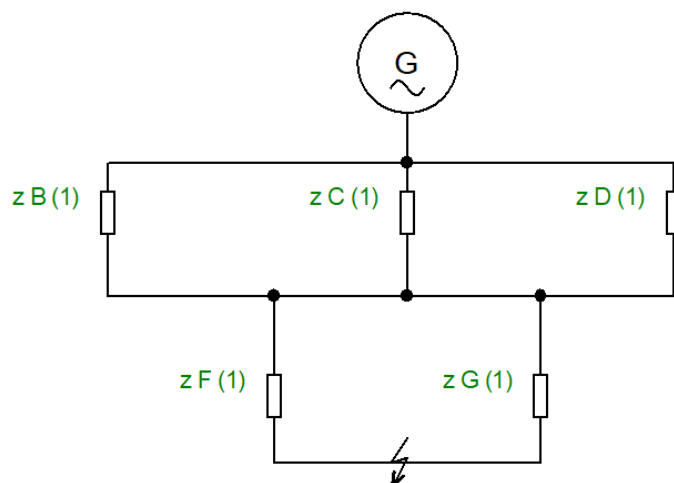
$$z_{663,664(1)} = r_{663,664(1)} + jx_{663,664(1)} = 0,25 + j0,82 \quad (70)$$

Vypočtené parametry využiji ve schématu:



Obrázek 7 Schéma vypočtených parametrů pro zkratové poměry

Toto schéma dále zjednoduší na následující:



Obrázek 8 Zjednodušené schéma pro výpočet zkratových poměrů

K tomuto schématu se dopočítám následujícími výpočty:

$$z_{A(1)} = \frac{1}{\frac{1}{z_{T111(1)}} + \frac{1}{z_{T112(1)}}} = \frac{1}{\frac{1}{0,38 + j14,49} + \frac{1}{0,38 + j14,49}} = 0,19 + j7,25 \quad (71)$$

$$z_{B(1)} = z_{A(1)} + z_{663,664(1)} + z_{s(1)} = 0,19 + j7,25 + 0,25 + j0,82 + 2,02 + j20,16 = 2,46 + j28,23 \quad (72)$$

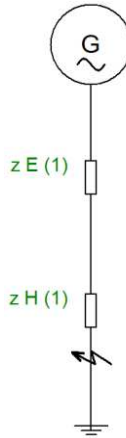
$$z_{C(1)} = z_{kT1(1)} + z_{T1(1)} + x_{TG11(1)} = 0,68 + j0,61 + 0,31 + j11,18 + j14,38 = 0,99 + j26,17 \quad (73)$$

$$z_{D(1)} = z_{kT2(1)} + z_{T2(1)} + x_{TG12(1)} = 1,69 + j1,53 + 1,56 + j24,95 + j35,94 = 3,25 + j62,42 \quad (74)$$

$$z_{F(1)} = z_{kTP1(1)} + z_{TP1(1)} = 2,07 + j2,69 + 0,72 + j19,99 = 2,79 + j22,68 \quad (75)$$

$$z_{G(1)} = z_{kTP2(1)} + z_{TP2(1)} = 2,07 + j2,69 + 0,72 + j19,99 = 2,79 + j22,68 \quad (76)$$

Dalším postupným zjednodušováním dojdou k následujícímu schématu:



Obrázek 9 Konečné schéma pro výpočet zkratových poměrů

$$z_{E(1)} = \frac{1}{\frac{1}{z_{B(1)}} + \frac{1}{z_{C(1)}} + \frac{1}{z_{D(1)}}} = \frac{1}{\frac{1}{2,46 + j28,23} + \frac{1}{0,99 + j26,17} + \frac{1}{3,25 + j62,42}} = 0,67 + j11,16 \quad (77)$$

$$z_{H(1)} = \frac{1}{\frac{1}{z_{F(1)}} + \frac{1}{z_{G(1)}}} = \frac{1}{\frac{1}{2,79 + j22,68} + \frac{1}{2,79 + j22,68}} = 1,39 + j11,34 \quad (78)$$

Posledním krokem zjednodušení je spočítat sériové řazení těchto dvou prvků:

$$z_{I(1)} = z_{E(1)} + z_{H(1)} = 0,67 + j11,16 + 1,39 + j11,34 = 2,06 + j22,5 \quad (79)$$

$$Z_{(1)} = |z_{I(1)}| = |2,06 + j22,5| = 22,59 \quad (80)$$

Vypočtený maximální trojfázový zkratový proud:

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot I_v}{Z_{(1)}} = \frac{1,1 \cdot 458,21}{22,59} = 22,31 \text{ kA} \quad (81)$$

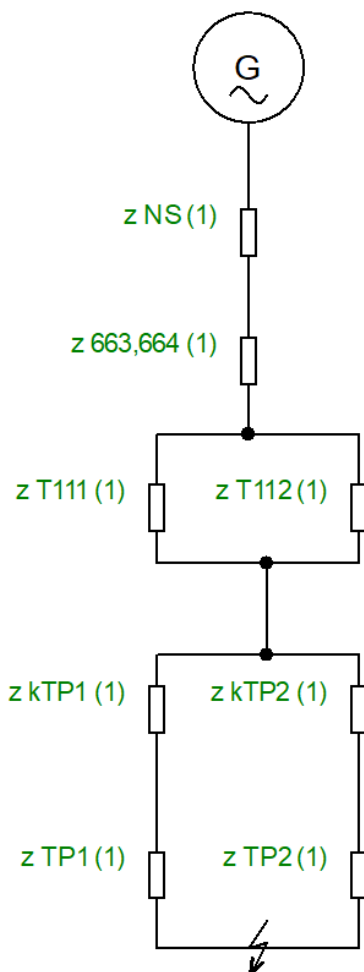
Pro úplnost dopočtu také dvoufázový zkratový proud:

$$Z_{(2)} = Z_{(1)} = 22,59 \quad (82)$$

$$I''_{k2} = \frac{c \cdot I_v}{Z_{(1)} + Z_{(2)}} = \frac{1,1 \cdot 458,21}{22,59 + 22,59} = 11,15 \text{ kA} \quad (83)$$

3.3.2 Výpočet minimálních hodnot zkratových proudů:

Pro výpočet zkratových proudů je potřeba uvažovat některé části sítě za vypnuté. V rozvodně mír je instalovaný výkon přibližně 47,5 MVA. Musím tedy zredukovat schéma tak, aby soustava přenášela do rozvodny alespoň 47,5 MVA. Vzhledem k tomu, že transformátory TP1 a TP2 mají každý výkon 25 MVA, nemůže vyřadit ani jeden. Transformátory T111 a T112 mají výkon 40 MVA. Generátory TG11 a TG12 mají výkony 40 a 16 MVA. Teoreticky bych mohl vyřadit generátor TG12 a jeden z transformátorů T111 nebo T112. Výkonově by tato konfigurace byla správná. V tuto chvíli je třeba ale podotknout, že generátory TG12 a TG11 slouží jako záložní zdroje pro rozvodnu mír v případě výpadku dodávky elektrické energie. Z tohoto důvodu jsem volil spíše provozní stav, kdy jsou oba generátory vypnuty. Energie je tedy dodávána z distribuční sítě. Tímto se mi velmi zjednoduší schéma pro výpočet minimálních zkratových proudů. Hodnoty převezmu z předchozích výpočtů a dopočítám jen poslední kroky výpočtu. Kromě změn ve schématu, se také mění parametr c . Ten se, pro minimální zkratové poměry, zvolí nejmenší možný. V mém případě tedy 1.



Obrázek 10 Schéma pro výpočet minimálních zkratů

$$z_{(1)} = z_{B(1)} + z_{H(1)} = 2,46 + j28,23 + 1,39 + j11,34 = 3,85 + j39,57 \quad (84)$$

$$Z_{(1)} = |z_{(1)}| = |3,85 + j39,57| = 39,75 \quad (85)$$

Vypočtený minimální trojfázový zkratový proud:

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot I_v}{Z_{(1)}} = \frac{1 \cdot 458,21}{39,75} = 12,09 \text{ kA} \quad (86)$$

Pro úplnost dopočtu také dvoufázový zkratový proud:

$$Z_{(2)} = Z_{(1)} = 39,75 \quad (87)$$

$$I''_{k2} = \frac{c \cdot I_v}{Z_{(1)} + Z_{(2)}} = \frac{1 \cdot 458,21}{39,75 + 39,75} = 6,04 \text{ kA} \quad (88)$$

Nárazový zkratový proud:

Trojfázový:

$$I''_{km3} = \sqrt{2} \cdot K \cdot I''_{k3max} = \sqrt{2} \cdot 2,4 \cdot 22,31 = 75,72 \text{ kA} \quad (89)$$

Pro minimální nárazové zkratové proudy jsem volil hodnotu koeficientu K 1,6, jelikož předpokládám odstávku všech strojů. Při maximálním naopak počítám s plným zatížením rozvodny s asynchronními stroji. Volil jsem tedy koeficient 2,4.

Ekvivalentní oteplovací proud:

$$T_{ki} = 1 \text{ s}$$

$$m = 0,044$$

$$n = 1$$

$$I_{th} = I''_{k3max} \sqrt{m + n} = 22,31 \cdot \sqrt{0,044 + 1} = 22,8 \text{ kA} \quad (90)$$

3.4. Popis možností úprav rozvodny

Každá rekonstrukce rozvodny má na začátku několik zásadních otázek, které je třeba si zodpovědět. První z otázek je technické vybavení. Pokud není požadována celková modernizace rozvodny nebo její prvky jsou dostatečně dimenzované pro novou funkci rozvodny, vybavení se ponechává. V opačném případě se vyměňují za novější, modernější, spolehlivější a dostatečně dimenzované.

Druhá otázka souvisí s typem rozvodny. Dříve se stavěly kobkové rozvodny. Dnes se směřuje spíše k rozvaděčovým rozvodnám. Většinou se však rozvaděčové rozvodny staví jako nové. Rekonstruované rozvodny, pokud byly kobkové, se na rozvaděčové nepřestavují. Toto rozhodnutí má několik důvodů. Hlavním důvodem je finanční náročnost. Je podstatně levnější modernizovat jednotlivé kobky, než je vybourat a postavit místo nich rozvaděče. Dalším důvodem je zastavěný prostor, který kobková rozvodna zabírá. Tento je předem daný a rozvaděče zabírají zpravidla méně místa. Zbylý prostor budovy rozvodny by zůstal zbytečně nevyužit. Navíc s podstatným zvýšením nákladů na výstavbu. V neposlední řadě, proč se kobkové rozvodny většinou nepřestavují na rozvaděčové je ten, že kobková rozvodna je stále přehlednější a prostornější v případě různých úprav. Zásadní jsou také finance, kde, jak už bylo řečeno, kobková rozvodna vychází levněji. V případě nových staveb jsou situace téměř vyvážené. Kobková rozvodna potřebuje větší pozemek a vyšší budovu, čímž se navyšuje cena, zatímco rozvaděče jsou dražší. Z pohledu bezpečnosti a náročnosti na obsluhu jsou lepší rozvaděče. Jejich konstrukce je kovově krytá navíc uzemněná. Tím chrání před nebezpečným dotykem živých částí, před nečistotami, prachem a vyšlehnutí oblouku do prostoru. Jejich velkou výhodou je možnost rychlejší přestavby a možnost kompletace přímo ve výrobním závodě do montážních celků. Kobkové rozvodny jsou sice prostornější, ale ochrana před nebezpečným dotykem je podstatně menší než u rozvaděčů. Ochrana před vyšlehnutím oblouku je zajištěna příčkami mezi kobkami, ale do prostoru se může dostat, protože kobky jsou kryté mřížemi nebo vůbec. Jejich údržba je jednoduchá vzhledem k jednoduchému přístupu ke všem částem kobky. Tento fakt ale klade důraz na kvalifikovanost obsluhy, která musí mít elektrotechnické vzdělání. Kobkové rozvodny navíc nelze umístit přímo v místě spotřeby ale většinou ve vedlejší budově. Tím, že nejsou úplně kryté, jsou náchylnější na prach a nečistoty. Poslední nevýhodou je výstavba, protože se musí stavět až v místě, kde budou stát.

Při stavbě nové rozvodny nebo rekonstrukci stávající je potřeba zohlednit také jeden důležitý faktor. Tím jsou napěťové poměry. Z normy ČSN EN 50 160 ed. 3 vychází podmínka kolísání napětí pro hladinu 22 kV $\pm 10\%$. To znamená, že napětí v síti se bude pohybovat v tomto daném rozmezí. S tím musí projektant počítat. Mohou totiž nastat případy, kdy je napájena technologie citlivá na

výkyvy napětí. Celá technologie může pracovat v mnohem menších rozsazích, než je $\pm 10\%$. Pro tyto případy je potřeba provést důkladnou analýzu technologie a ošetřit případné problémy technickým řešením. Nejschůdnějším řešením je použít transformátory s možností regulace odboček. Tyto transformátory jsou vybaveny systémem pro měření napětí a v případě nežádoucího kolísání napětí se regulují vývody transformátoru tak, aby nedocházelo ke kolísání napětí mimo požadované pásmo. Tato regulace může být ruční, závislá na obsluze, nebo automatická.

3.5. Návrh nového vybavení rozvodny

Pro volbu správného přístrojového vybavení vypíši důležité parametry rozvodny Mír:

Tabulka 3 Parametry potřebné pro dimenzování přístrojů v rozvodně

Jmenovité napětí	U_n	12kV
Provozní napětí	U_p	6,3 kV
Maximální zkratový proud	I_{kn}	22,31 kA
Jmenovitý proud přípojníc	I_n	3000 A
Maximální provozní proud	I_p	2176 A

3.5.1 Vypínače

Nejdůležitější částí rozvodny jsou vypínače. Z toho důvodu uvedu vypínače jako první. Zde jsem zvolil vypínač výrobce Siemens typ SION 3AE1186-7. Jeho šítkové hodnoty jsou:

Tabulka 4 Parametry vypínače SION 3AE1186-7

Jmenovité napětí	U_n	12 kV
Jmenovitý vypínací proud	I_{kn}	40 kA
Jmenovitý proud	I_n	3150 A

Tyto hodnoty jsou o řadu vyšší, než je ve skutečnosti potřeba. Je zde možnost pro snížení nákladů vybrat vypínač SION 3AE1085-6 s parametry:

Tabulka 5 Parametry vypínače SION 3AE1085-6

Jmenovité napětí	U_n	7,2 kV
Jmenovitý vypínací proud	I_{kn}	31,5 kA
Jmenovitý proud	I_n	2500 A

Tento vypínač je ale na hranici dimenzování. Proto je vhodnější použít typ 3AE1186-7, který je dimenzován na jmenovité hodnoty rozvodny. Volil jsem pouze z vypínačů firmy Siemens, jelikož všechny rozvodny energetiky Třinec používají vypínače této firmy. Vzhledem k servisu, náhradním dílům a revizím je jednodušší mít všechny vypínače stejného výrobce. Další vypínače budu brát z řady SION 3AE1186-2 pro odbočky:

Tabulka 6 Parametry vypínače SION 3AE1186-2

Jmenovité napětí	U_n	12kV
Jmenovitý vypínací proud	I_{kn}	40kA
Jmenovitý proud	I_n	1250 A



Obrázek 11 Vypínač Siemens SION 3AE1186-7 [14]

3.5.2 Přípojnicový systém

Hlavní přípojnicový systém rozvodny Mír tvoří zdvojené svisle uložené hliníkové pásy o rozměrech 100x10 mm.

3.5.3 Odpojovače

Odpojovače vybírám od výrobce Ipep ze stejného důvodu jako vypínače Siemens. Odpojovače pro 7,2 kV se vyrábějí pro jmenovitý proud maximálně do 2000 A. Proto musím zvolit odpojovač vyšší napěťové řady, který lze dimenzovat až do 8000 A. Volím tedy odpojovač typu QAK 12. Pro rozvodnu Mír je potřeba použít typ alespoň QAK 12.2500:

Tabulka 7 Parametry odpojovače QAK 12.2500

Jmenovité napětí	U_n	12 kV
Jmenovitý krátkodobý proud	I_{kn}	50 kA
Jmenovitý proud	I_n	2500 A

Pro lepší naddimenzování lze použít odpojovač QAK 12.3150:

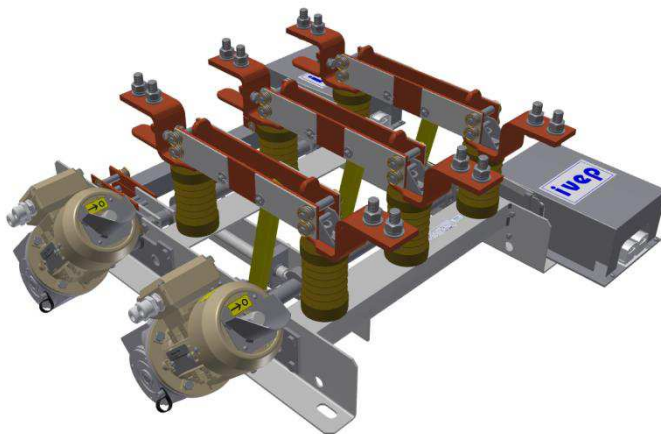
Tabulka 8 Parametry odpojovače QAK 12.3150

Jmenovité napětí	U_n	12 kV
Jmenovitý krátkodobý proud	I_{kn}	63kA
Jmenovitý proud	I_n	3150 A

Dále je potřeba odpojovače pro jednotlivé odbočky a kobky. Odpojovač QAK 12.1250:

Tabulka 9 Parametry odpojovače QAK 12.1250

Jmenovité napětí	U_n	12 kV
Jmenovitý krátkodobý proud	I_{kn}	31,5 kA
Jmenovitý proud	I_n	1250 A



Obrázek 12 Odpojovač IVEP QAK 12 [19]

3.5.4 Ochrany

Rozvodna Mír bude vybavena následujícími ochranami:

Digitální nadproudová ochrana 7SJ80, srovnávací ochrana 7SD80 a Napěťová ochrana 7RW80

Tyto ochrany jsou použity v následujících řídicích skříních:

Řídicí skříň přívodů z transformátorů TP1 a TP2 obsahují nadproudovou ochranu 7SJ80, srovnávací ochranu 7SD80 s návazností na přívod z rozvodny T2.

Řídicí skříň ostatních přívodů obsahují nadproudové, zemní směrové ochrany 7SJ80 a srovnávací ochranu 7SD80 s návazností na protější rozvodnu 6 kV.

Řídicí skříň vývodu na transformátory VN/NN obsahuje nadproudovou digitální ochranu 7SJ80.

Řídicí skříň motorového VN vývodu je vybavena nadproudovou digitální ochranou 7SJ80 s napěťovými vstupy.

Řídicí skříň měření je vybavena společnou napěťovou digitální ochranou 7RW80 s funkcí zemní ochrany rozvodny.

Nastavení těchto ochran není součástí této práce.



Obrázek 13 Ochrana Siemens 7SJ80 [20]

3.5.5 Přístrojové transformátory proudu

Přístrojové transformátory proudu jsou voleny podle potřeb ochrany a měření. Volím výrobky firmy ABB konkrétně tyto typy:

TTR 46.11 – jednopólový, dvoujádrový, izolovaný přístrojový transformátor proudu, průchodkový, pro montáž do kobky

Tabulka 10 Parametry přístrojového transformátoru proudu TTR 46.11

Převod		2500//5/5 A
Jmenovitý krátkodobý oteplovací proud	I_{thn}	250 kA
Zatížitelnost	S	60/30 VA
Přesnost		0,5/5P10

TTR 43.11

Tabulka 11 Parametry přístrojového transformátoru proudu TTR 43.11

Převod		1000//1/1 A
Jmenovitý krátkodobý oteplovací proud	I_{thn}	120kA
Zatížitelnost	S	30/15 VA
Přesnost		0,5/5P10

TTR 42.11

Tabulka 12 Parametry přístrojového transformátoru proudu TTR 42.11

Převod		150//1/1 A
Jmenovitý krátkodobý oteplovací proud	I_{thn}	60kA
Zatížitelnost	S	10/15 VA
Přesnost		0,5/5P10

TTR 41.11

Tabulka 13 Parametry přístrojového transformátoru proudu TTR 41.11

Převod		350//1/1 A
Jmenovitý krátkodobý oteplovací proud	I_{thn}	60kA
Zatížitelnost	S	10/15 VA
Přesnost		0,5/5P10

TPU 46.11 – Jednopólový, dvoujádrový, izolovaný přístrojový transformátor proudu, podpěrný, pro montáž do kobky

Tabulka 14 Parametry přístrojového transformátoru proudu TPU 46.11

Převod		2500//1/1 A
Jmenovitý krátkodobý oteplovací proud	I_{thn}	100kA
Zatížitelnost	S	30/15 VA
Přesnost		0,5/5P10

TSR 61.1 – Jednopolový, dvoujádrový, izolovaný přístrojový transformátor, průchodkový, pro montáž do kobky

Tabulka 15 Parametry přístrojového transformátoru proudu TSR 61.1

Převod		75//1/1 A
Jmenovitý krátkodobý oteplovací proud	I_{thm}	40kA
Zatížitelnost	S	10/15 VA
Přesnost		0,5/5P10

Jistící součtový transformátor proudu na kabelu Siemens 7XR9672 pro zemní směrovou ochranu 7SJ80:

Tabulka 16 Parametry přístrojového transformátoru proudu 7XR9672

Převod		60//1 A
Zatížitelnost	S	1,2 VA

3.5.6 Přístrojové transformátory napětí

Jednopolový izolovaný přístrojový transformátor napětí s pojistkou 0,6A TJP 4.1:

Tabulka 17 Parametry přístrojového transformátoru proudu TJP 4.1

Nejvyšší napětí soustavy	7,2 kV
Primární vinutí	$6/\sqrt{3}$ kV
Sekundární napětí	$100/\sqrt{3}$ kV
Třída přesnosti	0,5
Jmenovitý výkon	50 VA
Pomocné vinutí	100/3 V 6P

3.5.7 Omezovače přepětí

Navrhuji omezovač přepětí firmy ABB typ MWK07 je umístěn ve všech používaných kobkách.

Tabulka 18 Parametry omezovače přepětí MWK07

Jmenovité napětí	U_n	8,8 kVef.
Max. trvalé provozní napětí	U_c	7 kVef.

3.6. Vybavení jednotlivých kobek

- 1 Napájení rozvodny z transformátoru TP1, vybavená vypínačem Siemens SION 3AE1186-7, odpojovači QAK 12.3150, přístrojovým transformátorem TTR 46.11 a TJP4. Dále je vybavena ochranami 7SJ80 a 7SD80. Napájení je zajištěno šesti VN kabely typu 3x 6-AYKCY 1x500.
- 2 Napájení rozvodny SEVER 2. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. S přístrojovými transformátory TJP4 a TTR 43.11. Ochrany 7SJ80 a 7SD80. Vývod realizován dvěma kabely AYKYH 3x240. Kabely jsou provlečeny přístrojovým transformátorem 7XR9672.
- 3 PRŮMYSLOVÁ ZÓNA PŘÍVOD 1. Vybavena vypínačem Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250, přístrojovými transformátory TJP4 a TTR 43.11. Ochrany 7SJ80 a 7SD80. Vývod zajišťují čtyři kabely 6-AYKCY 3x240. Kabely jsou provlečeny přístrojovým transformátorem 7XR9672.
- 4 PŘÍČNÁ SPOJKA. Vypínač Siemens SION 3AE1186-7, odpojovači QAK 12.3150. Přístrojový transformátor TTR 46.11. Ochrana 7SJ80.
- 5 Transformátor TS6. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250, přístrojový transformátor TSR 61.1. Vývod realizován kabelem 6-AYKCY 3x240
- 6 Přívod transformátoru T3. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TTR 41.11. Ochrana 7SJ80. Vývod realizován Al pásem.
- 7 Napájení výklopníků vagónů 5-6. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TRR 41.11. Dále vybavena ochranou 7SJ80. Výstup vyveden na transformátor pomocí kabelu 6-AYKCY 3x240.
- 8 VENTILÁTOR LF5. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TSR 61.1. Ochrana 7SJ80. Vývod řešen kabelem 6-AYKCY 3x240.
- 9 Napájení rozvodny SEVER 1. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojové transformátory TJP4 a TTR 43.11. Ochrany 7SJ80 a 7SD80. Vývod realizován čtyřmi kabely AYKYH 3x240. Kabely jsou provlečeny přístrojovým transformátorem 7XR9672.
- 10 VENTILÁTOR LF4. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TSR 61.1. Ochrana 7SJ80. Vývod řešen kabelem 6-AYKCY 3x240.
- 11 Napájení TRAFO EXHAUSTOR 4. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TRR 41.11. Ochrana 7SJ80. Vývod na transformátor zajištěn kabelem 6-AYKCY 3x240.
- 12 Přívod transformátoru T4. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TTR 41.11. Ochrana 7SJ80. Vývod realizován Al pásem.

- 13 Napájení TRAFO EXHAUSTOR 3. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TRR 41.11. Ochrana 7SJ80. Vývod na transformátor zajištěn kabelem 6-AYKCY 3x240.
- 14 Přívod transformátoru TS5. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TSR 61.1. Ochrana 7SJ80. Vývod realizován kabelem 6-AYKCY 3x150.
- 15 Rezervní kobka
- 16 Přívod transformátoru T10. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TSR 61.1. Ochrana 7SJ80. Vývod realizován kabelem 6-AYKCY 3x240.
- 17 Rezervní kobka
- 18 MĚŘENÍ. Odpojovače QAK 12.1250. Přístrojové transformátory TJP4.1. Dvě ochrany 7RW80.
- 19 ZAKLADAČ 1 a NABĚRAČ 1 pracovní. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TRR 42.11. Ochrana 7SJ80. Vývod zajištěn kabelem 6-AYKCY 3x240.
- 20 Napájení rozvodny z transformátoru TP2, vybavená vypínačem Siemens SION 3AE1186-7, odpojovači QAK 12.3150, přístrojovým transformátorem TTR 46.11 a TJP4. Dále je vybavena ochranami 7SJ80 a 7SD80. Napájení je zajištěno šesti VN kabely typu 3x 6-AYKCY 1x500.
- 21 ZAKLADAČ 2 a NABĚRAČ 2 pracovní. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TRR 42.11. Ochrana 7SJ80. Vývod zajištěn kabelem 6-AYKCY 3x240.
- 22 Přívod transformátoru T7. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TTR 41.11. Ochrana 7SJ80. Vývod realizován Al pásem.
- 23 Napájení transformátoru VT3 HOMOGENIZAČNÍ SKLÁDKY. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TSR 61.1. Ochrana 7SJ80. Vývod řešen kabelem AYKY 3x150.
- 24 ZAKLADAČ 1 a NABĚRAČ 1 rezervní. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TRR 42.11. Ochrana 7SJ80. Vývod zajištěn kabelem 6-AYKCY 3x240.
- 25 Napájení transformátoru VT4 HOMOGENIZAČNÍ SKLÁDKY. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TSR 61.1. Ochrana 7SJ80. Vývod řešen kabelem AYKY 3x150

- 26 ZAKLADAČ 2 a NABĚRAČ 2 rezervní. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TRR 42.11. Ochrana 7SJ80. Vývod zajištěn kabelem 6-AYKCY 3x240.
- 27 VENTILÁTOR LF1. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TSR 61.1. Ochrana 7SJ80. Vývod řešen kabelem 6-AYKCY 3x240.
- 28 Přívod transformátoru T8. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TTR 41.11. Ochrana 7SJ80. Vývod realizován Al pásem.
- 29 Napájení transformátoru VT1 HOMOGENIZAČNÍ SKLÁDKY. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TTR 42.11. Ochrana 7SJ80. Vývod řešen kabelem AYKY 3x70 s původním reaktorem.
- 30 Napájení transformátoru VT2 HOMOGENIZAČNÍ SKLÁDKY. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TTR 42.11. Ochrana 7SJ80. Vývod řešen kabelem AYKY 3x240 s původním reaktorem.
- 31 Rezervní kobka
- 32 Přívod transformátoru T11. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TSR 61.1. Ochrana 7SJ80. Vývod realizován kabelem 6-AYKCY 3x240
- 33 VENTILÁTOR LF2. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TSR 61.1. Ochrana 7SJ80. Vývod řešen kabelem 6-AYKCY 3x240.
- 34 Přívod transformátoru T9. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TSR 61.1. Ochrana 7SJ80. Vývod realizován Al pásem.
- 35 VENTILÁTOR LF3. Vypínač Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250. Přístrojový transformátor TSR 61.1. Ochrana 7SJ80. Vývod řešen kabelem 6-AYKCY 3x240.
- 36 Napájení PRŮMYSLOVÁ ZÓNA PŘÍVOD 2. Vybavena vypínačem Siemens SION 3AE1186-2 s odpojovači QAK 12.1250, Přístrojovými transformátory TJP4 a TTR 43.11. Ochraň 7SJ80 a 7SD80. Vývod zajišťují čtyři kabely 6-AYKCY 3x240. Kabely jsou provlečeny přístrojovým transformátorem 7XR9672.

3.7. Technicko-ekonomické zhodnocení

Poslední část návrhu rekonstrukce rozvodny Mír je přibližné ekonomické zhodnocení rekonstrukce. Uvedené částky jsou pouze orientační a mohou se mírně lišit. Jednotlivé tabulky obsahují cenový odhad dílčích částí rozvodny Mír. Ceny jsou uvedeny bez DPH.

Přípojnícový systém a kobky:

Tabulka 19 ceny přípojnícového systému a kobek na rozvodně Mír

Přípojnícový systém a kobky	množství (ks / m)	cena za kus	celková cena
Al pás 100x10mm	1370	800 Kč	1 096 000 Kč
Al pás 63x10mm	950	550 Kč	522 500 Kč
montážní materiál	36	50 000 Kč	1 800 000 Kč
skříňe kobek	36	100 000 Kč	3 600 000 Kč
Celkem			7 018 500 Kč

Přístrojové vybavení rozvodny:

Tabulka 20 Ceny přístrojového vybavení rozvodny Mír

Přístroj	množství	cena za kus	celková cena
Vypínače			
Siemen SION 3AE1186-2	29	200 000 Kč	5 800 000 Kč
Siemens SION 3AE1186-7	3	200 000 Kč	600 000 Kč
Odpojovače			
QAK 12.3150	6	40 000 Kč	240 000 Kč
QAK 12.1250	56	40 000 Kč	2 240 000 Kč
Ochrany			
7SJ80	30	40 000 Kč	1 200 000 Kč
7SD80	6	40 000 Kč	240 000 Kč
7RW80	2	40 000 Kč	80 000 Kč
Přístrojové transformátory proudu			
TTR 46.11	1	15 000 Kč	15 000 Kč
TTR 43.11	4	15 000 Kč	60 000 Kč
TTR 42.11	5	15 000 Kč	75 000 Kč
TTR 41.11	7	15 000 Kč	105 000 Kč
TPU 46.11	2	15 000 Kč	30 000 Kč
TSR 61.11	12	15 000 Kč	180 000 Kč
7XR9672	4	15 000 Kč	60 000 Kč
Přístrojové transformátory napětí			
TJP 4.1	8	15 000 Kč	120 000 Kč
Omezovače přepětí			
MWK07	32	8 000 Kč	256 000 Kč
Celkem			11 045 000 Kč

Montážní práce na rozvodně:

Tabulka 21 ceny montážních a demontážních prací na rozvodně Mír

montážní práce	množství (ks / m)	cena za kus	celková cena
demontáž kobek	36	50 000 Kč	1 800 000 Kč
montáž kobek	36	100 000 Kč	3 600 000 Kč
montáž a nastavení ochran	38	20 000 Kč	760 000 Kč
Montáž přístrojových transformátorů	43	10 000 Kč	430 000 Kč
Montáž vypínačů	32	100 000 Kč	3 200 000 Kč
Montáž omezovačů přepětí	36	6 000 Kč	216 000 Kč
Montáž přípojnicového systému	1	250 000 Kč	250 000 Kč
Montáž odpojovačů	62	20 000 Kč	1 240 000 Kč
revizní práce dílčích kobek	36	20 000 Kč	720 000 Kč
Celkem			12 216 000 Kč

Přibližná cena rekonstrukce činí přibližně 30 279 500 Kč. Do této ceny nejsou zahrnuty bourací práce, malování kobek a podobně. [1]

Závěr

První kapitola teoretické části této práce se zabývá významem průmyslových rozvodů, elektrických stanic a jejich rozdělením. Dále jsem nastínil problematiku požadavků elektrických stanic. Na konci první kapitoly jsem popsal nejdůležitější elektrické stroje a přístroje, které se ve stanicích využívají. Jejich funkci, konstrukční řešení a vliv na chod stanice.

Druhá teoretická kapitola pojednává o výpočtu minimálních a maximálních zkratových proudů, vztahy pro výpočet impedancí jednotlivých prvku a také všeobecné podmínky pro výpočet podle normy ČSN EN 60909-0 edice 2. V této kapitole jsou vyňaty nejdůležitější části této normy, které jsou využitelné pro VN rozvodny. Všechny tyto části jsou následně použity v praktické části.

V praktické části jsem objasnil stávající stav rozvodny a důvod její rekonstrukce. Poté jsem postupným zjednodušováním schématu rozvodny dospěl k celkové impedanci a následně vypočetl minimální a maximální zkratový proud. Výpočet jsem prováděl v poměrných jednotkách. Pro zajímavost jsem vypočetl i dvoufázové zkratové proudy. Posledním výpočtem je výpočet oteplovacího proudu a nárazového zkratového proudu.

Po výpočtu zkratů jsem rozvedl kratší úvahu, jestli volit kobkovou nebo rozváděčovou rozvodnu. Vzhledem k faktu, že se rekonstruuje kobková rozvodna, jsem zvolil opět variantu kobek.

Dalším krokem je návrh přístrojového vybavení rozvodny. Volba výrobců jednotlivých přístrojů byla omezena ostatními přístroji, které využívá Energetika Třinec. Z důvodu sjednocené údržby, obsluhy a možných oprav jsem tedy volil vypínače firmy Siemens, odpojovače Isep, ochrany siemens, přístrojové transformátory a omezovače přepětí od firmy ABB. Stručně jsem uvedl důležité parametry přístrojů v jednotlivých tabulkách. Předposledním krokem je rozdělení jednotlivých kobek s rozpisem osazených přístrojů, který doplňuje přiložená schémata z přílohy 1.

Finální krok je technicko-ekonomické zhodnocení celé rekonstrukce rozvodny. Volil jsem orientační ceny jednotlivých částí vybavení. Do zhodnocení jsem zahrnul i montážní a demontážní práce a odhad montážního materiálu. Cenu těchto prací jsem odhadl mezi 50-100 % pořizovacích nákladů. Výsledný odhad tedy vychází na necelých 31 milionů Kč. Cena je bez DPH.

Použitá literatura

[1] *Firemní dokumentace: Autel*. Třinec.

[2] ČSN EN 60909-0 ED 2. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách: část 0: výpočet proudů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.

[3] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení*. VŠB-TU Ostrava. Ostrava: MONTANEX, 2008. ISBN 987-80-7225-291-6.

[4] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika II: zkraty, přepětí, stabilita, průmyslová energetika*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1993. ISBN 80-7078-195-5.

[5] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1992. ISBN 80-7078-132-7.

[6] HORÁK, Karel. *Výpočet elektrických sítí*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980.

[7] KRYCHTÁLEK, Zbyněk a Josef PAUZA. *Elektrické stanice*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-03-00075-0.

[8] NOVOTNÝ, Vladimír a Zdeněk VÁVRA. *Spínací přístroje a rozvaděče na vysoké napětí*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1986.

[9] PAUZA, Josef. *Silnoproudá rozvodná zařízení v průmyslu*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1974.

[10] DIRBÁK, Tomáš. *Rekonstrukce kobkové rozvodny 22 a 6 kV* [online]. Ostrava, 2015 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/108535/DIR0011_FEI_N2649_3907T001_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=n. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký.

[11] PROCHÁZKA, Radek. Druhy elektrického silnoproudého rozvodu. *Tzbinfo* [online]. Praha, 2007, 9.4.2007 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/4035-druhy-elektrického-silnoproudeho-rozvodu>

[12] Basics of Medium-Voltage Wiring. In: *SOLARPRO* [online]. 2013, 6.1.2013 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://solarprofessional.com/articles/design-installation/basics-of-medium-voltage-wiring/page/0/8#.WtjJIx6sYdV>

[13] Vnitřní odpojovače a uzemňovače. In: *DRIBO* [online]. 2018 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.dribo.cz/vyrobní-program/a31-itr-13300-vnitřní-odpojovace-a-uzemnovace/>

[14] 3AE1186-2. In: *Siemens* [online]. 2018, 2018 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/products/3ae1186-2.....-../sion-3ae1-12kv-40ka-1250a?pid=214952&mlfb=3AE1186-2.....-.....&mfu=ps&lc=en-WW>

[15] TTR 4x.xx: *Indoor bushing current transformer* [online]. ABB, 2016, 2016 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1VLC000504&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

[16] Přístrojové transformátory proudu typ TSR. *Vfservis* [online]. ABB, 2001, 2001 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: http://www.vfservis.cz/files/000078_TSR_katalog_cs.pdf

[17] *Nkt cables: Katalog VN kabelů* [online]. Velké Meziříčí: nkt cables [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: http://www.nkt.com/fileadmin/user_upload/Products/Data_sheets/22-AXEKVCEY+DS+CZ+EN.pdf

[18] HELŠTÝN, David, Petr KAČOR a Zdeněk HYTKA. *Elektrické přístroje spínací ochranné a jističí: průvodce studiem*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, Regionální centrum celoživotního vzdělávání, 2003. ISBN 80-248-0315-1.

[19] Vnitřní odpojovače QAK, QAKZ. In: *Ivep.cz* [online]. Brno [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.ivep.cz/cz/produkty/vnitri-odpojovace-odpinace-zkratovace-a-uzemnovace/vnitri-odpojovace-qak-qakz>

[20] SIPROTEC 7SJ80. In: *Siemens* [online]. 2018, 2018 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/products-systems-solutions/protection/overcurrent-feeder-protection/pages/7sj80.aspx>

Seznam příloh

Příloha 1: Rozvodna Mír jednopólové schéma kobek

List 1: kobky č. 1, 3, 5, 7, 9, 11

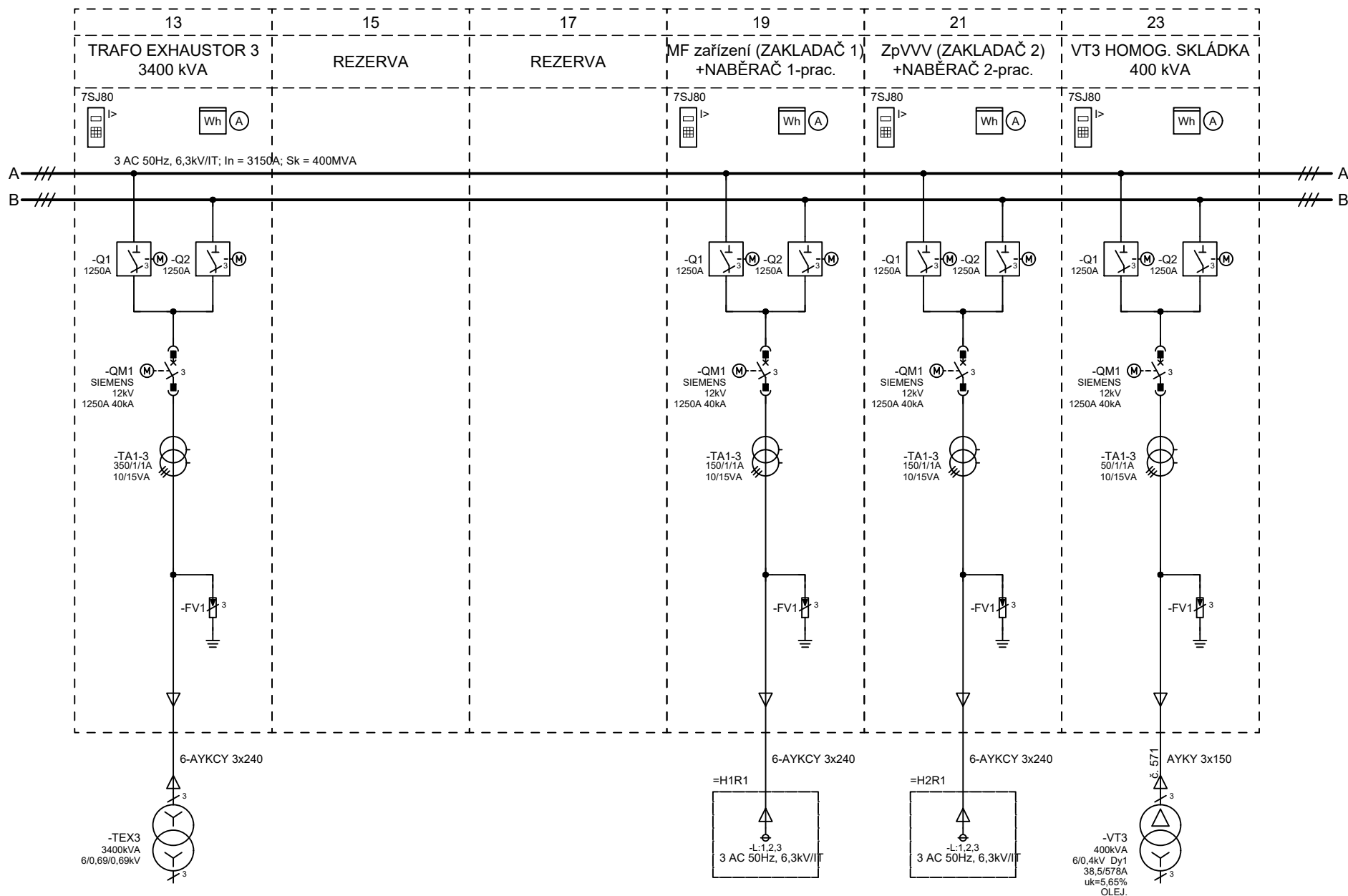
List 2: kobky č. 13, 15, 17, 19, 21, 23

List 3: kobky č. 25, 27, 29, 31, 33, 35

List 4: kobky č. 36, 34, 32, 30, 28, 26

List 5: kobky č. 24, 22, 20, 18, 16, 14

List 6: kobky č. 12, 10, 8, 6, 4, 2

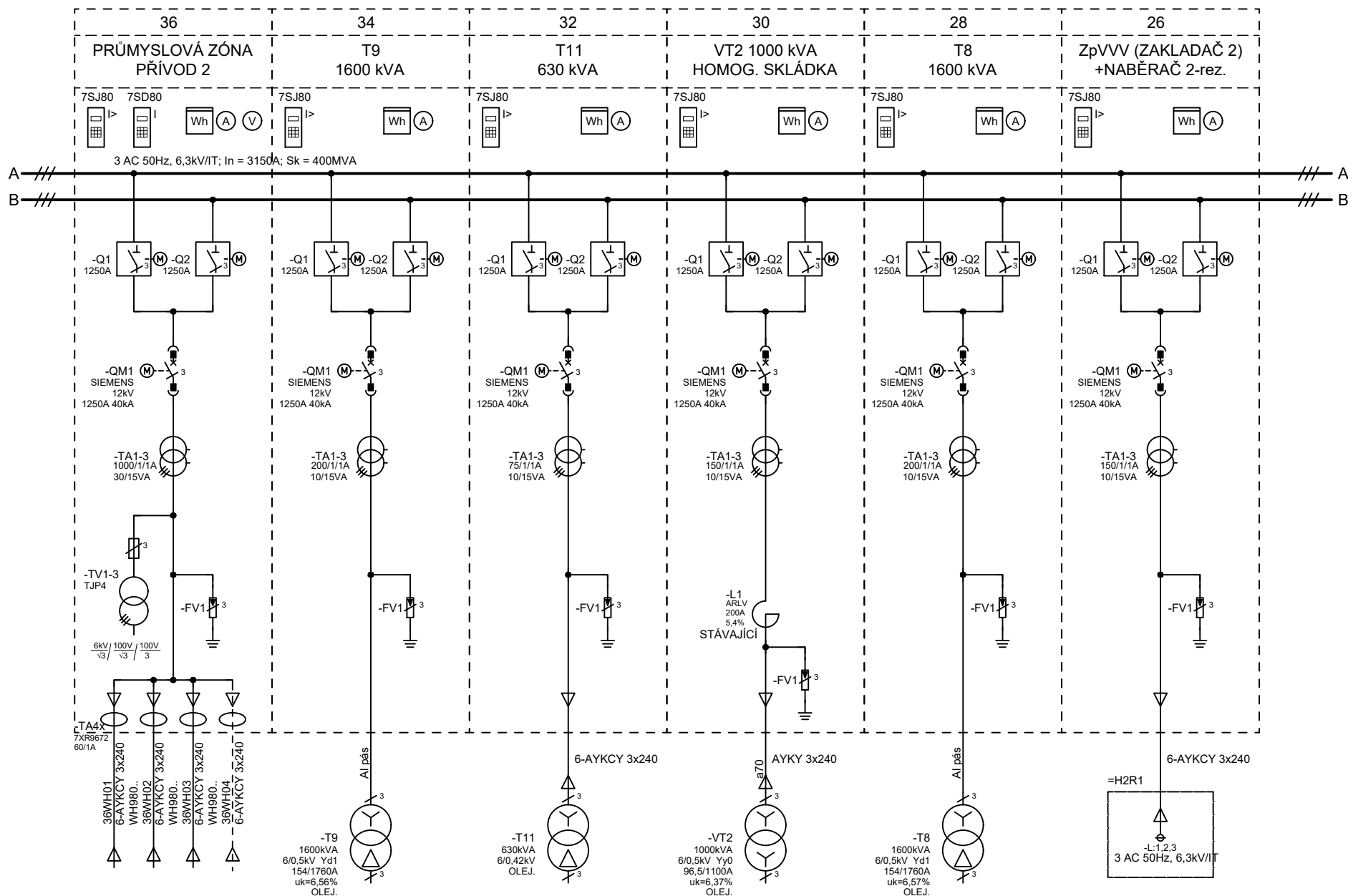


KRESLIL: Bc. MICHAL ZUBER
 DATUM: 23. 2. 2018

SBORNÍK: **ROZVODNA MÍR**

NÁZEV: **KOBKA Č. 13, 15, 17, 19, 21, 23**

LIST:	PŘED: 1
2	DALŠÍ: 3



KRESLIL: Bc. MICHAL ZUBER
 DATUM: 23. 2. 2018

SBORNÍK:

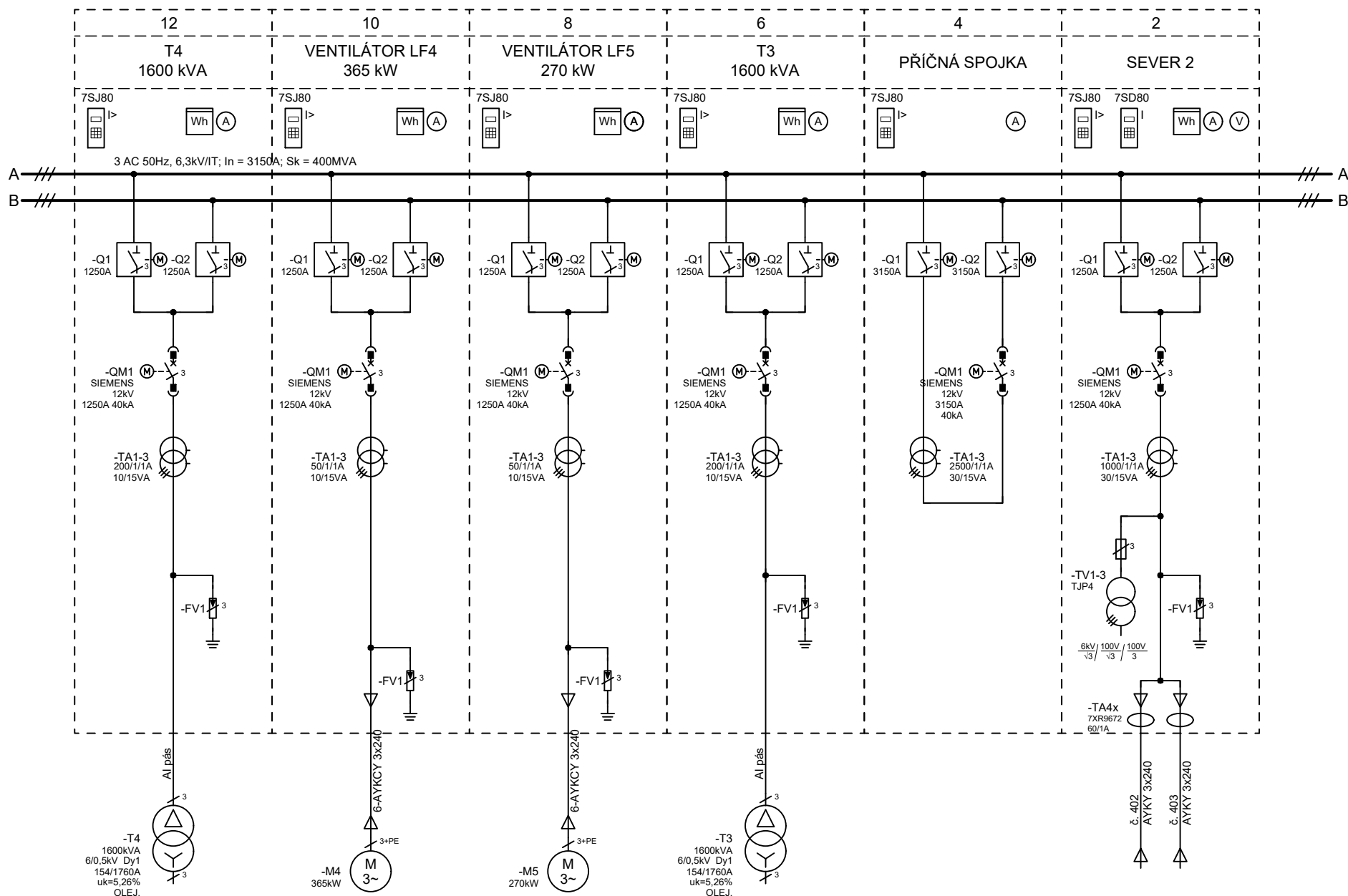
ROZVODNA MÍR

NÁZEV:

KOBKA Č. 36, 34, 32, 30, 28, 26

LIST: 4

PŘED: 3
 DALŠÍ: 5



KRESLIL: Bc. MICHAL ZUBER
 DATUM: 23. 2. 2018

SBORNÍK: ROZVODNA MÍR

NÁZEV: KOBKA Č. 12, 10, 8, 6, 4, 2

LIST: 6 PŘED: 5
 DALŠÍ: